

การศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้าง
ชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว



นายอภิเชษฐ ก้อนคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

**A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PART
ORIENTATION AND DIRECTION OF RAPID
PROTOTYPE CONSTRUCTION**

Aphichet Konkham



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2014

การศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้าง
ชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ปภากร พิทยชาล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.พยุศักดิ์ จุลยุเสน)

กรรมการ

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภิเชษฐ ก้อนคำ : การศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้าง
ชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว (A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PART
ORIENTATION AND DIRECTION OF RAPID PROTOTYPE CONSTRUCTION)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยवाल, 96 หน้า

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping Technology, RP) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Aided Design, CAD) โดยแบบจำลองจะถูกแบ่งและสร้างชิ้นทีละชั้นจนเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ด้วยเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว การกำหนดทิศทางการจัดวางวัตถุให้เหมาะสมก่อนการสร้างชิ้นงานต้นแบบสามารถช่วยในการวางแผนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งส่งผลต่อจำนวนและรูปร่างของฐานรองรับชิ้นงาน ทำให้สามารถลดวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบ รวมถึงการลดต้นทุนในการสร้างชิ้นงาน

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัดและระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน และการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ ที่เหมาะสมกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

ผลการวิจัยส่วนแรกพบว่า เวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วแปรผันตามความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ส่วนที่สองการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุนั้น เป็นวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุด้วยกล่องขอบเขตได้ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยกล่องขอบเขตจะถูกประยุกต์ใช้เพื่อระบุหาปริมาณฐานรองรับชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานจะถูกกำหนดทิศทางที่มีการสร้างฐานรองรับชิ้นงานปริมาณต่ำสุด ซึ่งทิศทางการจัดวางวัตถุนี้จะสอดคล้องกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว โดยหากมีทิศทางการจัดวางวัตถุมากกว่าหนึ่งทิศทางที่ทำให้เกิดปริมาณฐานรองรับชิ้นงานเท่ากันจะพิจารณาทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีจำนวนฐานรองรับชิ้นงานต่ำสุดเป็นทิศทางการจัดวางวัตถุต่อไป

APHICHET KONKHAM : A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN
PART ORIENTATION AND DIRECTION OF RAPID PROTOTYPE
CONSTRUCTION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PAPHAKORN
PITAYACHAVAL, Ph.D., 96 PP.

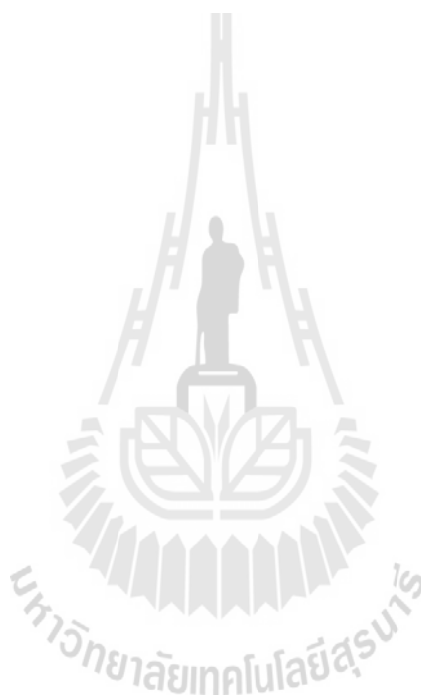
RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY (RP)/PART ORIENTATION/CROSS-
SECTIONAL AREA/SUPPORT MATERIAL/LAYER BY LAYER

Rapid prototyping technology (RP) is a technology to construct prototype layer by layer directly from a computer file (CAD model). Each layer is created one by one until all layers are created, which the model is completed. To minimize volume of material and cost, a part orientation is an issue for RP planning process.

This research has been separated into two parts: (1) a study of the relationship between part height, part cross-sectional and construction time and (2) an analysis of part orientation and direction of rapid prototype construction for 3D Printing.

For the first part of research, the results were shown that the construction time relates to part height and part cross-sectional area. For the second part of research, a method of part orientation analysis has been introduced by using a bounding box concept. A bounding box has been applied to identify support structures. The part orientation, that presents a minimum volume of support structure, has been assigned as a direction of rapid prototype construction for 3D Printing. Unfortunately, if there is more than one direction that obtains minimum volume of support structure, the

construction direction has been assigned on the direction that contains both minimum volume and number of support structure.



School of Industrial Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature_____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชาวล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้โอกาสทางการศึกษา และให้คำแนะนำ ในด้านต่าง ๆ คอยดูแลด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี และให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัยจนสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุศักดิ์ จุลยุเสน ที่ได้กรุณาที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและทำวิจัย อบรมสั่งสอนและให้ข้อคิดคำแนะนำในด้านต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ คธา วาทกิจ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัยและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ ที่ได้กรุณาให้การอบรมสั่งสอน ให้ข้อคิดและคำแนะนำต่าง ๆ ทั้งด้านการศึกษาและการดำเนินชีวิต ความคิดศีลธรรมจรรยา ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินชีวิตได้ในทางที่ถูกต้อง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสมภพ มหาโคตร ที่สั่งสอนและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว รวมถึงดูแลในขณะทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและทำวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรักและความทุ่มเทในการอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ปลูกฝังให้รักในการศึกษา ให้ความเชื่อมั่นและความไว้วางใจ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีและเป็นแรงผลักดันจนทำให้ประสบผลสำเร็จในชีวิต

อภิเชษฐ ก้อนคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	12
1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	13
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 Prototype Technology.....	14
2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วโดยใช้วัสดุตั้งต้นของแข็ง.....	14
2.1.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของเหลว.....	16
2.1.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง.....	18
2.2 ทิศทางการวางชิ้นงาน.....	21
2.3 การสร้างฐานรองชิ้นงาน.....	22
2.4 โปรแกรม Visual basic.....	24
2.5 โปรแกรม Solid works.....	25
2.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	27
3 การดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 การดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการ	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สร้างชิ้นงาน	35
3.1.2 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วย กรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ	35
3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้าง ชิ้นงาน	36
3.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานกับความสูง และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน	37
3.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาตรฐานรองรับชิ้นงานกับระยะเวลาในการ สร้างชิ้นงาน	38
3.3 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี การพิมพ์แบบ 3 มิติ	38
3.3.1 การสร้างชิ้นงานในรูปแบบ 3 มิติ (Creating 3D Model)	41
3.3.2 การสร้างกล่องขอบเขต (Creating Bounding Box)	41
3.3.3 การกำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Determining Support Structure)	42
3.3.4 การวิเคราะห์ส่วนที่เป็นฐานรองรับชิ้นงาน (Analyzing Support Structure)	43
4 ผลการดำเนินงาน	46
4.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้าง ชิ้นงาน	46
4.2 ผลการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วย กรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ	49
4.2.1 กรณีศึกษาที่ 1	49
4.2.2 กรณีศึกษาที่ 2	54
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการ สร้างชิ้นงาน	61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วย กรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ.....	61
5.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ	61
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยต่อไป	61
เอกสารอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก. การประมวลผลด้วยโปรแกรม Visual Basic.....	65
ภาคผนวก ข. โปรแกรม Visual Basic.....	70
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุด้วย โปรแกรม Visual basic และโปรแกรม Solid works.....	85
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	96



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	การตั้งค่าการทดลองของการทดลองกลุ่มที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสร้าง ชิ้นงานกับความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน..... 38
3.2	เงื่อนไขการตรวจสอบลักษณะพื้นที่ที่เป็นฐานรองชิ้นงาน 44
4.1	ผลการทดลองความสูงของชิ้นงานคงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานไม่คงที่..... 47
4.2	ผลการทดลองความสูงของชิ้นงานไม่คงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่..... 47
4.3	ผลของปริมาตรของฐานรองชิ้นงานและระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานในแต่ละทิศทาง 48
4.4	การจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป..... 53
4.5	สรุปการจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป..... 58



สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	แสดงกระบวนการของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid prototype Technology).....	3
1.2	แสดงกระบวนการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Hur & Lee, 1998).....	3
1.3	แสดงรูปแบบของ STL ไฟล์.....	4
1.4	แสดงการแบ่งชั้นชิ้นงาน	4
1.5	แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็วจากเส้นโครงร่าง	5
1.6	แสดงลักษณะผลกระทบที่เกิดจากวงทิศทางในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Hur & Lee, 1998)	5
1.7	(ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM).....	6
1.7	(ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus(SLA).....	7
1.7	(ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3D Printing)	7
1.8	(ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Laminated Object Manufacturing (LOM)	8
1.8	(ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS).....	9
1.8	(ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC).....	9
1.9	แสดงลักษณะพื้นที่ต้องการฐานรองชิ้นงานและพื้นที่ที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน	10
1.10	แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปและทิศทางการจัดวางของชิ้นงาน	11
1.11	แสดงการสร้างฐานรองชิ้นงาน	11
2.1	แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบLaminated Object Manufacturing (LOM) (วรวิฑูริ et al.).....	15
2.2	แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) (วรวิฑูริ et al.).....	16
2.3	แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus (SLA) (วรวิฑูริ et al.).....	17
2.4	แสดงการกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC) (วรวิฑูริ et al.)	18
2.5	แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS) (วรวิฑูริ et al.)	19
2.6	แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Electron Beam Melting (EBM) (วรวิฑูริ et al.).....	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.7	แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3DP) (วรวิฑิต et al.) 21
2.8	แสดงขอบชิ้นงานที่มีลักษณะผิวเป็นขั้นบันได 22
2.9	แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995) 23
2.10	แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995) 23
2.11	แสดงผลกระทบที่เกิดจากทิศทางการจัดทิศทางที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม 28
2.12	แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกล่องขอบเขต (Chan & Tan, 2001) 28
2.13	แสดงกระบวนการการกำหนดทิศทางการโดยในกระบวนการแบบ Hybrid rapid prototyping (Hua et al., 2002) 39
2.14	แสดงการพัฒนาของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (P. M. Pandey, 2010) 30
2.15	แสดงลักษณะทิศทางการวางวัตถุก่อนการสร้างชิ้นงาน (Giannatsis & Dedoussis, 2007) 31
2.16	แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ FDM (P. M. Pandey, 2010) 32
2.17	แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ SLA 32
2.18	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฐานรองชิ้นงานที่มีผิวตรงและผิวเอียง (Huang et al., 2008) 33
2.19	แสดงกลยุทธ์ของ CIDES (Kirschman et al., 1991) 34
2.20	แสดงการสร้าง ฐานรองชิ้นงานของ เขียอกเบียร์ (Ossino et al., 2009) 34
3.1	แสดงเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ยี่ห้อ Dimension Elite 36
3.2	แสดงเส้นพลาสติกชนิด ABS 36
3.3	แสดงแบบจำลอง 3 มิติ กล่องสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าที่ใช้ทำการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการสร้าง ต้นแบบรวดเร็ว 37
3.4	แสดงรูปชิ้นงาน 3 มิติสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 2 38
3.5	แสดงขั้นตอนการดำเนินทั้งหมด 39
3.6	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียด 40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7	แสดงตัวอย่างชิ้นงาน 3 มิติที่ออกแบบจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์.....41
3.8	แสดงตัวอย่างกล่องขอบเขตที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์42
3.9	แสดงการหักกลับชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขต42
4.1	แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในตัวอย่างที่ 1.....49
4.2	แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+ และ y-.....50
4.3	แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ.....50
4.4	แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต.....51
4.5	แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต.....51
4.6	แสดงตำแหน่งของฐานรองรับชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน.....52
4.7	แสดงรูปทรงฐานรองรับชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+ และ y-...52
4.8	แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในตัวอย่างที่ 2.....54
4.9	แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+.....55
4.10	แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ.....55
4.11	แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต.....56
4.12	แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต.....56
4.13	แสดงตำแหน่งของฐานรองรับชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน.....57
4.14	แสดงรูปทรงฐานรองรับชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+.....57
ก.1	แสดงการป้อนข้อมูลข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างกล่องขอบเขต66
ก.2	แสดงผลลัพธ์จากการสร้างกล่องขอบเขต.....66
ก.3	แสดงการวิเคราะห์จุดมุมของชิ้นงาน.....67
ก.4	แสดงการจัดเก็บข้อมูลจุดมุมของชิ้นงาน.....67
ก.5	แสดงการตรวจสอบลักษณะเส้นขอบบนพื้นผิวชิ้นงาน68
ก.6	แสดงผลการคำนวณปริมาตรของชิ้นงาน.....68
ก.7	แสดงการจัดเก็บข้อมูลปริมาตรของชิ้นงาน69
ค.1.1	แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+.....86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.1.2	แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ..... 86
ค.1.3	แสดงการหักเหชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต..... 87
ค.1.4	แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเหชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต..... 87
ค.1.5	แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเหชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต..... 87
ค.1.6	แสดงการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual basic 88
ค.1.7	แสดงการจัดเก็บข้อมูลใน โปรแกรม Visual basic 88
ค.1.8	แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกล่องขอบเขตกับชิ้นงานตรวจสอบ 89
ค.1.9	แสดงตำแหน่งของฐานรองรับชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเหชิ้นงาน 89
ค.1.10	แสดงรูปทรงฐานรองรับชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนว y+..... 89



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

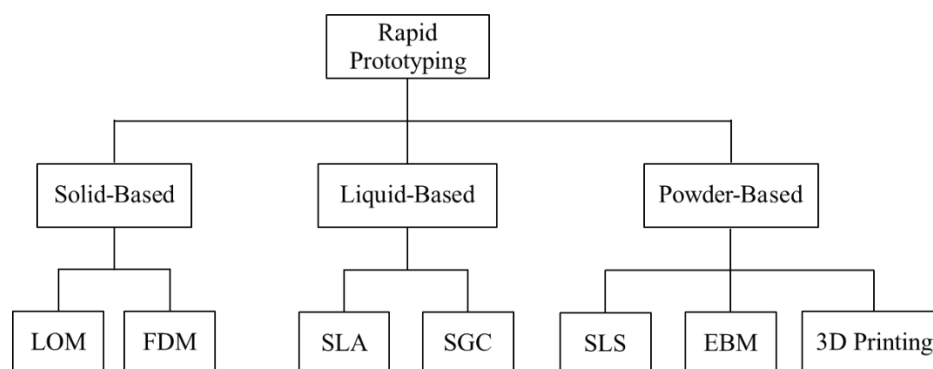
การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product design and development) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเป็นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จัดว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญกระบวนการหนึ่งในการผลิตสินค้า เพื่อส่งออกสู่ตลาด ภายใต้การดำเนินงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะเริ่มจากการสำรวจความต้องการของลูกค้า เพื่อทราบความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริงในตัวผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากความต้องการของลูกค้ามาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์หรืออาจเป็นการปรับปรุงการออกแบบของผลิตภัณฑ์เดิม ข้อมูลของการออกแบบที่ได้จะถูกส่งไปยังส่วนที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์จริง เพื่อทำการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่ได้มาจากการออกแบบ ซึ่งหลังจากผลิตชิ้นงานออกมาแล้ว นำมาสู่กระบวนการของการประเมินผล โดยทำการทดสอบการทำงานก่อนการใช้งานจริง ถ้าชิ้นงานต้นแบบสามารถยอมรับได้ก็จะนำรายละเอียดของชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบไปวางแผนการผลิตเพื่อทำการผลิตและส่งชิ้นงานออกสู่ตลาด แต่ถ้าหากชิ้นงานต้นแบบไม่เป็นที่ยอมรับก็ต้องนำชิ้นงานกลับเข้าสู่กระบวนการออกแบบใหม่เพื่อปรับปรุงหรือแก้ไขจนชิ้นงานเป็นที่ยอมรับได้เพื่อส่งเข้าสู่การวางแผนการผลิต เพื่อผลิตออกสู่ตลาดต่อไป (MIHAIELA, Department, Bucharest, Street, & ROMANIA)

ซึ่งในอดีตกระบวนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อทำการผลิตชิ้นงาน ยังไม่มีเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงาน เพื่อสร้างชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมาเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ การทำงานแต่ละกระบวนการจึงต้องใช้ความสามารถและความชำนาญของนักออกแบบหรือผู้สร้างชิ้นงานในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ในการผลิตชิ้นงานเพื่อออกสู่ตลาดในแต่ละชิ้นต้องใช้เวลาและเกิดความผิดพลาดในการผลิต จึงทำให้สิ้นเปลืองวัสดุและค่าใช้จ่ายรวมถึงใช้เวลาในการผลิตมาก และได้มีการคิดค้นพัฒนากระบวนการออกแบบอย่างต่อเนื่องจนได้มีการนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Computer Aided Design) เพื่อช่วยลดความผิดพลาด ลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งเทคโนโลยีทาง

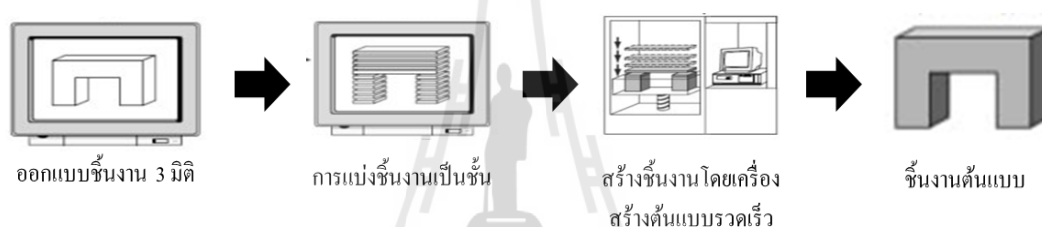
คอมพิวเตอร์ที่นำมาช่วยในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นกำลังได้รับความสนใจในภาคต่างๆ ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การแพทย์ การศึกษา การวิจัยและพัฒนา เป็นต้น

ซึ่งเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถช่วยลดความผิดพลาด ลดระยะเวลา และลดต้นทุนในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ประกอบไปด้วยหลากหลายเทคโนโลยีซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype Technology) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสร้างชิ้นงานต้นแบบในรูปแบบชั้น โดยจะเป็นการสร้างชิ้นงานทีละชั้น (Layer By Layer) จนได้เป็นรูปร่างชิ้นงานที่สมบูรณ์ ซึ่งได้รับแบบจำลองโดยตรงจากโปรแกรมการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการหักเนื้อวัสดุออก (Subtractive process) และกระบวนการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้า (Additive process) โดยกระบวนการหักเนื้อวัสดุออกเป็นการหักเนื้อวัสดุออกด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น ตะไบ สว่าน เลื่อย เป็นต้นจนได้รูปร่างชิ้นงานที่ต้องการสมบูรณ์ ส่วนกระบวนการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้าเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้าไปแบบต่อเนื่องจนได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถแบ่งตามวัตถุดิบตั้งต้นได้เป็น 3 ประเภท คือ วัตถุดิบตั้งต้นแบบของแข็ง ประกอบไปด้วยกรรมวิธี Laminated Object Manufacturing (LOM) และ Fused Deposition Modeling (FDM) ส่วนวัตถุดิบตั้งต้นแบบของเหลวจะประกอบไปด้วยกรรมวิธี Stereolithography Apparatus (SLA) และ Solid Ground Curing (SGC) และวัตถุดิบตั้งต้นที่เป็นผง ประกอบไปด้วยกรรมวิธี Selective Laser Sintering (SLS), Electron Beam Melting (EBM) และ Three-Dimensional Printing (3D Printing) (วรวิทย์, ทรงคุณ, & ปริญญา, 2549) ในรูปภาพที่ 1.1 แสดงกระบวนการของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบตั้งต้นในการสร้างชิ้นงาน

โดยทั่วไปเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วนั้นจะมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้ คือ ออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ แบบจำลอง 3 มิติ โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะถูกแบ่งเป็นชั้น (Slicing) และทำการสร้างเป็นชิ้นงานต้นแบบด้วยเครื่องสร้างแบบจำลองรวดเร็วจนได้เป็นชิ้นงานออกมาดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว
(Rapid Prototype Technology)



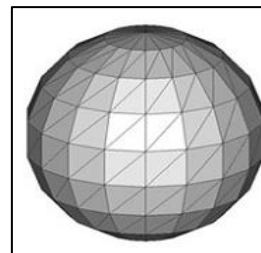
รูปที่ 1.2 แสดงกระบวนการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Hur & Lee, 1998)

กรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วในแต่ละกรรมวิธีมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน แต่ทุกกรรมวิธีมีแนวทางการพัฒนาที่สอดคล้องกัน การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วสามารถจำแนกแนวทางการพัฒนา 4 ด้าน คือ การออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบจาก STL ไฟล์ (STL File Modeling) การวิเคราะห์การแบ่งชั้นชิ้นงาน (Slicing Analysis) การวิเคราะห์แนวทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสร้างต้นแบบ (Tool path planning of RP process) และการวิเคราะห์ทิศทาง การจัดวางวัตถุ (Object Analysis)

โดยแนวทางแรก การออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อให้เกิดความผิดพลาดต่ำสุดจากการสร้างต้นแบบ จาก STL ไฟล์ ซึ่งเป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว โดยจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมประกอบกันที่ผิวด้านนอกและด้านในของชิ้นงาน ซึ่งในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว แบบจำลอง 3 มิติจะถูกแปลงเป็น STL ไฟล์ ก่อนทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วจนสำเร็จ (Kumar & Dutta, 1997) รวมถึงการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยตรงจากข้อมูลภาพทางวิศวกรรม (Soonanon & Koomsap, 2009) ดังแสดงในรูปที่



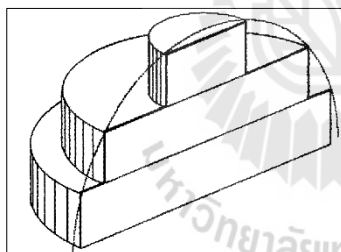
แบบจำลอง 3 มิติ



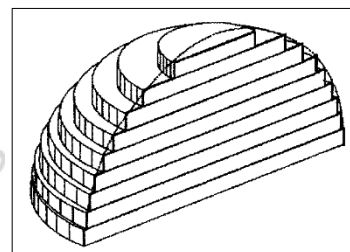
STL ไฟล์

รูปที่ 1.3 แสดงรูปแบบของ STL ไฟล์

ส่วนแนวทางที่สอง การวิเคราะห์การแบ่งชั้นชิ้นงาน เป็นการพัฒนาแนวการแบ่งชิ้นงาน ออกเป็นชั้นๆ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การแบ่งชั้นชิ้นงานโดยแต่ละชั้นมีขนาดเท่ากัน (Uniform Slicing) และการแบ่งชั้นชิ้นงานโดยแต่ละชั้นมีขนาดไม่เท่ากัน (Adaptive Slicing) ซึ่งการแบ่งชั้นชิ้นงานสามารถนำไปสู่การลดความสูงของผิวแบบขั้นบันได (Staircase Effect) ได้ (Cao & Miyamoto, 2003) แสดงแสดงในรูปที่ 1.4



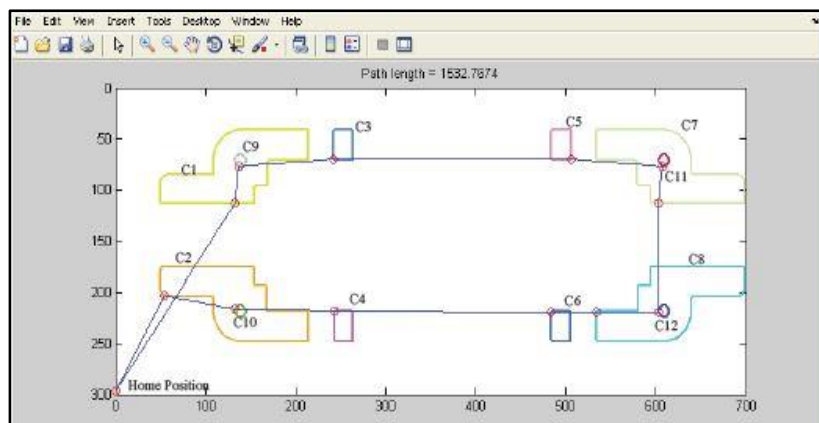
Uniform Slicing



Adaptive Slicing

รูปที่ 1.4 แสดงการแบ่งชั้นชิ้นงาน

แนวทางที่สาม คือ การวิเคราะห์แนวทางการเคลื่อนที่ของกระบวนการสร้างต้นแบบ เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เหมาะสม รวมถึงลดการสูญเสียในการสร้างต้นแบบ แสดงในรูปที่ 1.5 (พิทยชวล & เบ้าทอง, 2556)



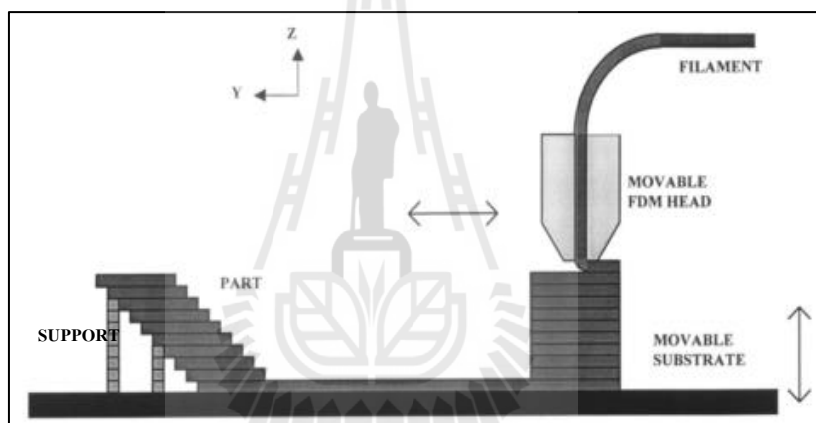
รูปที่ 1.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็วจากเส้นโครงร่าง (พิทยชาวล & เบ้าทอง, 2556)

และแนวทางที่ดี คือ การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุเป็นการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางชิ้นงานต้นแบบเพื่อนำไปสู่การขึ้นรูป ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์ฐานรองรับชิ้นงาน (Support Structure) เพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับชิ้นงานและป้องกันการไม่ให้ชิ้นงานเกิดการโค่นล้มหรือเสียรูป ในขณะที่สร้างชิ้นงานต้นแบบ (Guo, Zhang, Wang, & Huang, 2006) โดยการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุที่เหมาะสมจะสามารถลดปริมาณวัตถุดิบสำหรับการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน นำไปสู่การลดเวลาและต้นทุนในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.6

ผลกระทบ	ลักษณะการจัดวางทิศทาง	
	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
การเกิดพื้นผิวแบบขั้นบันได		
การเกิดฐานรองรับชิ้นงาน		
การเกิดจำนวนชั้นของชิ้นงาน		

รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะผลกระทบที่เกิดจากวางทิศทางในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Hur & Lee, 1998)

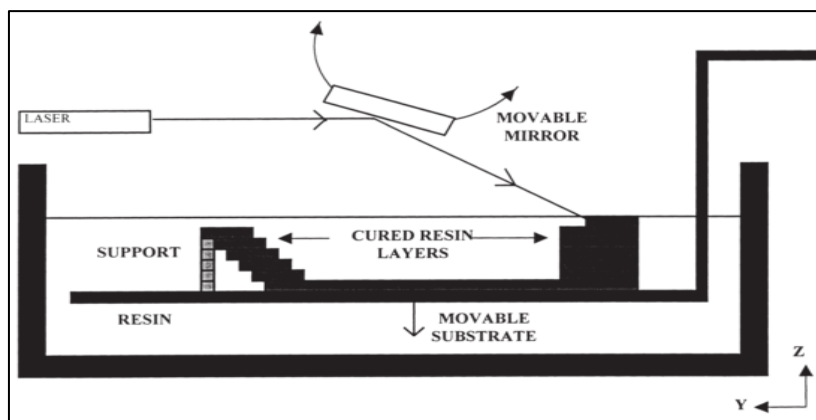
โดยฐานรองรับชิ้นงาน เป็นส่วนที่เป็นหลักหรือสมอยึดติดกับชิ้นงานเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับชิ้นงานอีกทั้งยังช่วยป้องกันการหลุดลอยของชิ้นงาน ซึ่งจำนวนฐานรองรับชิ้นงานนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะและขนาดของชิ้นงานและวัตถุดิบที่ใช้ (Kumar Chalasani, Larry Jones, & Larry Roscoe, 1995) ซึ่งประเภทของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จำเป็นต้องสร้างฐานรองรับชิ้นงาน (Support Structure) ประกอบไปด้วย 2 กรรมวิธีคือ Fused Deposition Modeling (FDM) และ Stereolithography Apparatus (SLA) (Pham & Gault, 1998) โดยกรรมวิธีทั้ง 2 กรรมวิธีนี้ ไม่สามารถสร้างฐานรองรับชิ้นงานได้เนื่องจากรูปแบบในการผลิตและวัสดุในขณะที่สร้างไม่สามารถรองรับชิ้นงานในตัวเองได้ (Support Structure) จึงต้องมีการสร้างฐานรองรับชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดการเสียรูป ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ก) (ข) และ ค



รูปที่ 1.7 (ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM)

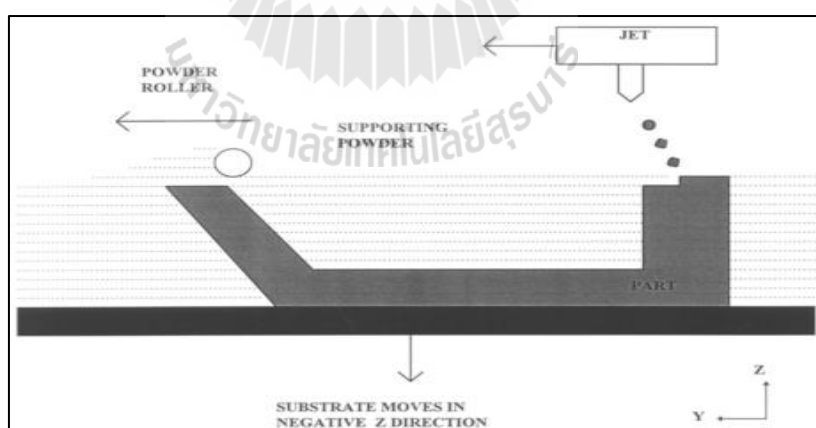
(Pham & Gault, 1998)

ในรูปที่ 1.7 (ก) เนื่องจากกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) เป็นกรรมวิธีที่สร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยวัตถุตั้งต้นที่เป็นของแข็งโดยการให้ความร้อนและฉีดวัตถุตั้งต้นออกมาในลักษณะเป็นเส้นที่ทะลุผ่านตามรูปแบบของชิ้นงาน 3 มิติ จึงจำเป็นต้องมีฐานรองรับชิ้นงานมารองรับในบริเวณที่เสี่ยงต่อการทำให้ชิ้นงานต้นแบบโค่นล้ม มีผลคือรูปไปทางเดิม พังเสียหาย เป็นต้น



รูปที่ 1.7 (ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus (SLA) (Pham & Gault, 1998)

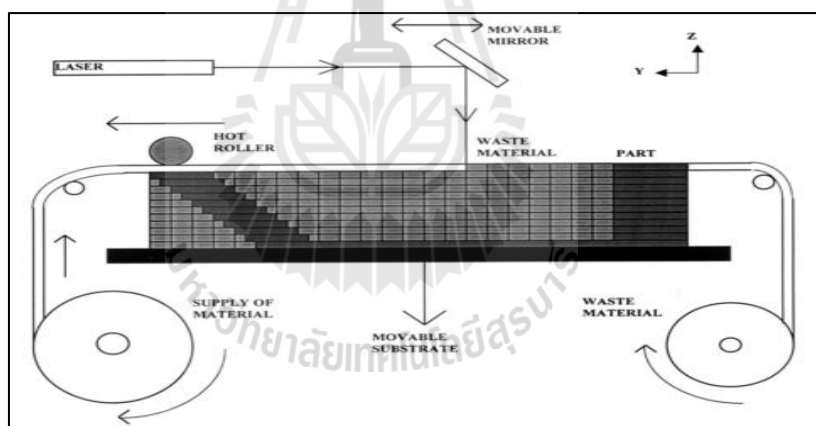
โดยกรรมวิธีของ Stereolithography Apparatus (SLA) เป็นกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานด้วยวัตถุตั้งต้นที่เป็นของเหลว โดยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตยิงลงไปทีละชั้นที่เนื้อวัตถุตั้งต้นตามรูปร่างชิ้นงาน 3 มิติ ทีละชั้น เนื้อวัตถุตั้งต้นเป็นของเหลว จึงไม่สามารถรับชิ้นงานต้นแบบที่สร้างในแต่ละชั้นได้จึงจำเป็นต้องมีฐานรองรับชิ้นงานมารองรับเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานต้นแบบ โคนล้ม หรือผิดรูปร่างจากเดิม



รูปที่ 1.7 (ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3D Printing) (Pham & Gault, 1998)

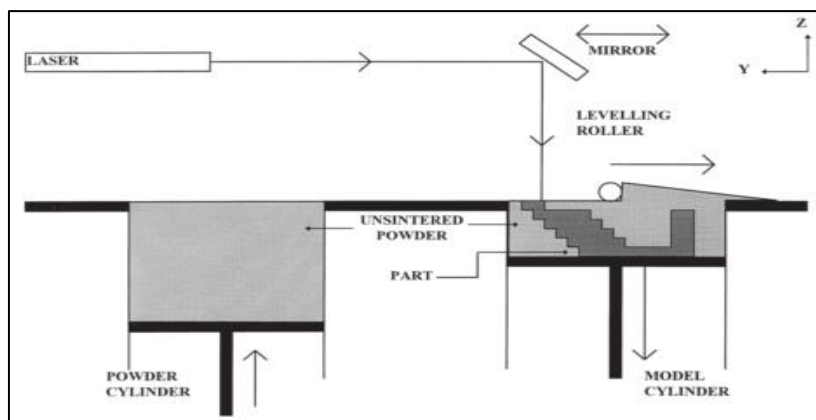
เนื่องจากกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3D Printing) เป็นกรรมวิธีที่สร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยวัตถุตั้งต้นที่เป็นผง โดยการใช้กาวเป็นตัวประสานยึดวัตถุตั้งต้นออกมาพร้อมกับกาว ตามรูปแบบของชิ้นงาน 3 มิติ ไม่สามารถสร้างฐานรองรับชิ้นงานได้ด้วยตัวเองจึงจำเป็นต้องมีฐานรองรับชิ้นงานมารองรับในบริเวณที่เสี่ยงต่อการทำให้ชิ้นงานต้นแบบโค่นล้ม และพังเสียหาย

เทคโนโลยีของการสร้างชิ้นงานที่สามารถสร้างฐานรองรับชิ้นงานได้ด้วยตัวเอง และไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองรับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (ก) (ข) (ค) และ (ง) เนื่องด้วยกรรมวิธีเหล่านี้เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยใช้วัตถุตั้งต้นที่เป็นของแข็งในลักษณะที่เป็นแผ่นและวัตถุตั้งต้นที่เป็นผง ซึ่งเมื่อทำการสร้างชิ้นงานด้วยการยิงแสงอัลตราไวโอเลต หรืออินฟราเรด ไปยังเนื้อวัตถุในส่วนที่เป็นรูปร่างตามชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ เพื่อให้จับตัวกัน ซึ่งวัตถุดิบในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการยิง แสงอัลตราไวโอเลตหรืออินฟราเรดเพื่อให้เนื้อวัตถุตั้งต้นก่อตัวกัน สามารถที่จะเป็นส่วนที่รองรับชิ้นงานในตัวเองได้ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองรับชิ้นงานเพิ่ม

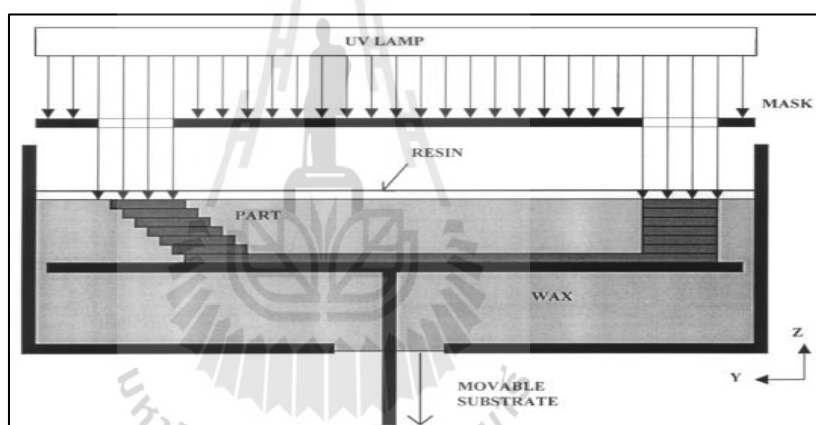


รูปที่ 1.8 (ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Laminated Object Manufacturing (LOM)

(Pham & Gault, 1998)



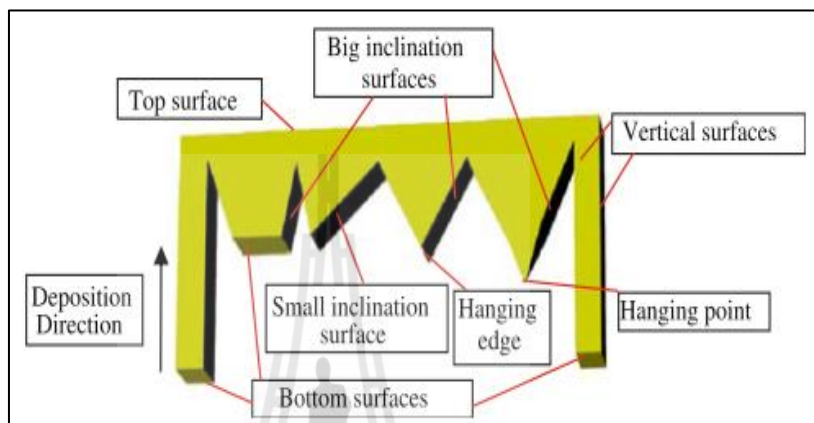
รูปที่ 1.8 (ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS)
(Pham & Gault, 1998)



รูปที่ 1.8 (ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC) (Pham & Gault, 1998)

นอกจากกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว สามารถบ่งบอกการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน และไม่สร้างฐานรองรับชิ้นงานได้แล้วลักษณะผิวหรือตำแหน่งของผิวชิ้นงานสามารถบ่งบอกได้ เช่นเดียวกัน โดยพื้นผิวที่ไม่ต้องการฐานรองรับชิ้นงานนั้นเป็นส่วนผิวด้านบนของชิ้นงาน (Top surface) ผิวที่เป็นแนวตั้ง (Vertical surface) และผิวที่มีลักษณะเอียงมาก (Surface with big inclination) ส่วน ประเภทพื้นผิวที่ไม่สามารถสร้างฐานรองรับขึ้นได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจำเป็นต้องสร้างบานรองจากภายนอกควบคู่กันไป พื้นผิวจะมีลักษณะ ขอบที่ยื่นออกจากตัวชิ้นงาน (Hanging edges) จุดที่ยื่นออกจากตัวชิ้นงาน (Hanging point) ผิวที่มีลักษณะเอียงเล็กน้อย (Bottom with small inclination) และผิวด้านล่างที่มีลักษณะยกสูงจากพื้น (Bottom surface) เป็นต้น (Huang, Ye,

Wu, Guo, & Mo, 2008) ซึ่งในรูปที่ 1.9 แสดงลักษณะพื้นที่ที่ต้องการตัวรองรับและพื้นที่ที่ไม่ต้องการฐานรองชั้นงาน ซึ่งในรูปร่างชั้นงานแต่ละชั้นจะมีลักษณะพื้นผิวที่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชั้นงานหรือไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชั้นงานแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางในการจัดวางวัตถุนั้นๆ

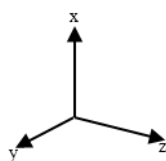
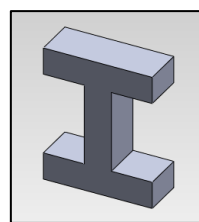


รูปที่ 1.9 แสดงลักษณะพื้นที่ที่ต้องการฐานรองชั้นงานและพื้นที่ที่ไม่ต้องการฐานรองชั้นงาน

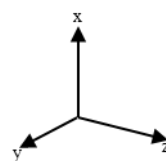
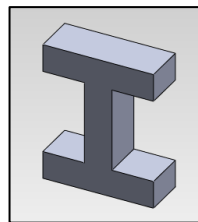
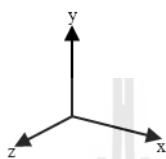
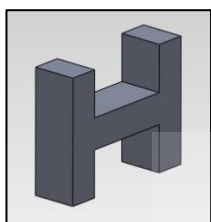
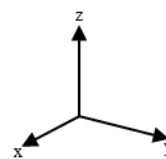
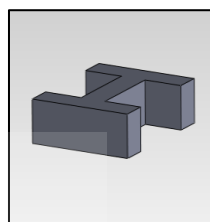
(Huang et al., 2008)

การออกแบบทิศทางการจัดวางวัตถุเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งในการสร้างต้นแบบรวดเร็วในแต่ละครั้ง สามารถลดระยะเวลา ลดความเสียหายหรือลดค่าใช้จ่ายได้ หากมีการวิเคราะห์ทิศทางของการจัดวางวัตถุก่อนก่อนทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบ จะสามารถประหยัดปริมาณวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายมากขึ้น และชิ้นงานมีการแบ่งชั้นที่เหมาะสม ซึ่งชิ้นงานแต่ละชั้นจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน ดังนั้นทิศทางที่ความเหมาะสมในการจัดวางย่อมมีความแตกต่างกันไป โดยในรูปที่ 1.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปและทิศทางการจัดวางของชิ้นงาน

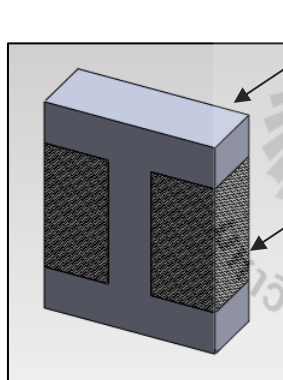
ในรูปที่ 1.10 ชิ้นงานต้นแบบสามารถจัดทิศทางในการวางวัตถุได้ 6 ทิศทาง คือ ทิศทาง $x+$, $x-$, $y+$, $y-$, $z+$ และ $z-$ ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีขั้นตอนและกระบวนการสร้างที่แตกต่างกัน โดยในการวางในทิศทาง $x+$, $x-$, $y+$ และ $y-$ จำเป็นที่จะต้องสร้างฐานรองชั้นงาน แต่ในการวางในทิศทาง $z+$ และ $z-$ ไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชั้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.11



รูปแบบชิ้นงานตัวอย่าง

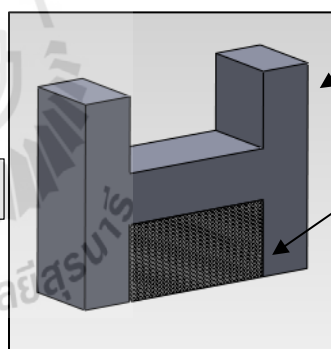
การวางทิศทาง $x+$ และ $x-$ การวางทิศทาง $y+$ และ $y-$ การวางทิศทาง $z+$ และ $z-$

รูปที่ 1.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปและทิศทางการจัดวางของชิ้นงาน



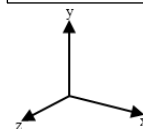
ชิ้นงาน

ฐานรองชิ้นงาน

การวางทิศทาง $x+$ และ $x-$ 

ชิ้นงาน

ฐานรองชิ้นงาน

การวางทิศทาง $y+$ และ $y-$

รูปที่ 1.11 แสดงการสร้างฐานรองชิ้นงาน

จากรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นว่าการวางวัตถุในทิศทาง $x+$, $x-$, $y+$ และ $y-$ จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน ซึ่งส่งผลให้ต้องใช้ปริมาณวัตถุดิบเพิ่มขึ้นสำหรับสร้างฐานรองชิ้นงาน ซึ่งแตกต่างจากการวางในทิศทาง $z+$ และ $z-$ ที่ไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงานส่งผลให้ไม่เสียปริมาณวัตถุดิบเพิ่มขึ้นสำหรับสร้างฐานรองชิ้นงานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างชิ้นงาน

ต้นแบบ ในการสร้างชิ้นงานในขั้นนี้ทิศทางในการวางชิ้นงานในทิศทาง z^+ และ z^- จึงถูกพิจารณาเป็นทิศทางในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

จากที่กล่าวมาในข้างต้น จะเห็นได้ว่าทิศทางของการจัดวางวัตถุมีความสำคัญต่อเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยมีผลต่อ ปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานและใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสร้างฐานรองชิ้นงานจึงส่งผลให้ต้องใช้ต้นทุนที่ใช้ ในการสร้างชิ้นงานและระยะเวลาที่ใช้ไป นอกจากนี้ความสูงของชิ้นงานและขนาดพื้นที่หน้าตัดมีผลต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานด้วยเช่นกันซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งการวิเคราะห์และวางแผนทิศทางการวางวัตถุที่มีความถูกต้องและแม่นยำ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วและลดปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นและต้นทุนในการสร้างชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งการวิเคราะห์แสดงผลทิศทางของการจัดวางวัตถุ และขนาดฐานรองชิ้นงานในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประหยัดปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นสามารถลดต้นทุน ภายใต้สมมติฐาน ปริมาตรฐานรองชิ้นงานจะแปรผันตรงต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างฐานรองชิ้นงานและระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุ จะเป็นการวิเคราะห์แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งาน (User) จะทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุและปริมาตรฐานรองชิ้นงานร่วมกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมออกแบบทางคอมพิวเตอร์วิเคราะห์และแสดงผลในโปรแกรม Visual basic เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานน้อยที่สุด เพื่อใช้เป็นทิศทางในการจัดวางวัตถุและสร้างชิ้นงานต้นแบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

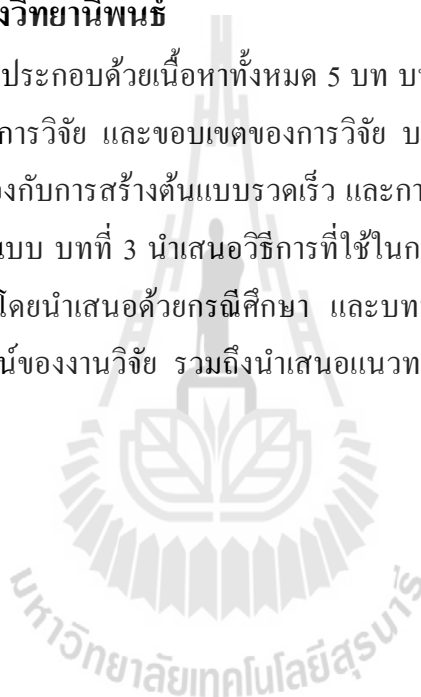
1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. การวิจัยนี้มีปัจจัยนำเข้า (Input) คือรูปแบบชิ้นงาน 3 มิติ
2. การวิจัยนี้มีปัจจัยนำออก (Output) เป็นทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ส่งผลให้เกิดฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตร (Volume) น้อยที่สุด

3. การวิจัยนี้พิจารณารูปร่างชิ้นงาน 3 มิติ ที่มีผิวภายนอกเป็นทรงเหลี่ยมเท่านั้น
4. การวิจัยนี้จะใช้เทคโนโลยีการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วแบบการพิมพ์ 3 มิติในการวิเคราะห์
5. การวิจัยนี้กำหนดทิศทางการหมุนชิ้นงานทั้งหมด 6 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทาง $x+$, $x-$, $y+$, $y-$, $z+$ และ $z-$

1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท บทที่ 1 นำเสนอที่มาความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย และขอบเขตของการวิจัย บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ บทที่ 3 นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ บทที่ 4 แสดงผลลัพธ์ของการดำเนินการวิจัย โดยนำเสนอด้วยกรณีศึกษา และบทที่ 5 นำเสนอการสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย, ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงนำเสนอแนวทางในการนางานวิจัยไปประยุกต์ใช้ต่อไป



บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

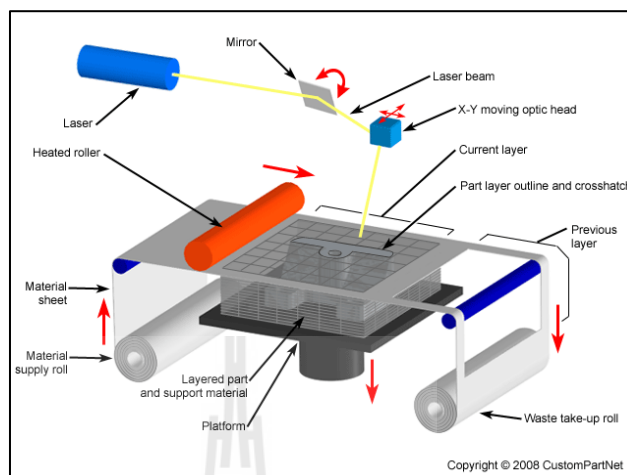
2.1 Rapid Prototype Technology

Rapid Prototype Technology หรือที่เรียกกันสั้นๆว่า RP ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างต้นแบบรวดเร็วนี้มีอยู่ 2 แบบ ใหญ่ๆ ได้แก่ กรรมวิธีการหักเนื้อวัสดุออก (Subtractive Process) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมาตั้งแต่อดีต ซึ่งเป็นการนำเนื้อวัสดุออกไปเรื่อยๆด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น เลื่อย สว่าน ตะไบ สว่าน เรืองกลึง เป็นต้น จนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จออกมา ซึ่งวิธีนี้มีข้อด้อยคือ ไม่สามารถจะสร้างงานที่มีความซับซ้อนมากๆได้ ต่อมาจึงได้มีการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบใหม่ขึ้นมา คือเทคโนโลยีการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้า (Additive Process) วิธีนี้จะใช้การค่อยๆเพิ่มเนื้อวัสดุลงไปตามภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้นทีละชั้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จ ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะสามารถสร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งการสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธีการเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive Process) นั้นสามารถจำแนกออกตามคุณสมบัติของวัสดุได้ 3 ประเภท ได้แก่ การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของแข็ง (Solid-based rapid prototyping) , การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของเหลว (Liquid-based rapid prototyping) , การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุผง (Power-based rapid prototyping)

2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วโดยการใช้วัสดุตั้งต้นของแข็ง

วัสดุตั้งต้นที่นำมาใช้จะมีลักษณะเป็นของแข็ง ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบของแผ่น แบบเส้น หรือแบบก้อนเล็กๆ ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การทำให้เนื้อวัสดุหลอมละลายหรือการใช้กาวเชื่อมต่อแผ่นวัสดุในแต่ละชั้นให้ยึดติดกันเป็นรูปทรงที่ต้องการโดยกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

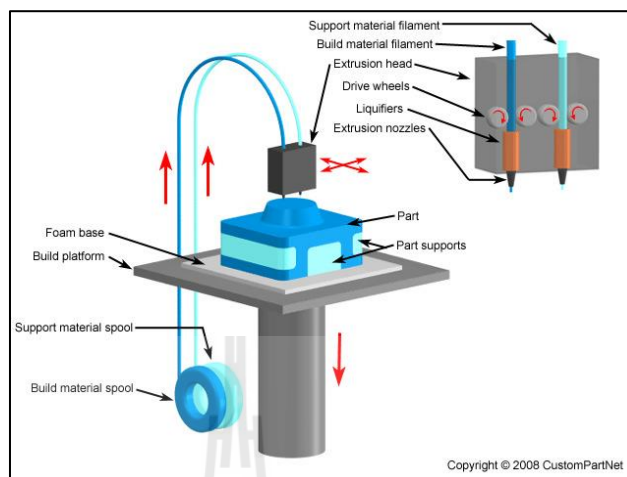
2.1.1.1 Laminated Object Manufacturing (LOM)



รูปที่ 2.1 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบLaminated Object Manufacturing (LOM)
(วรวิฒน์ et al., 2549)

หลักการทำงานของการสร้างชิ้นแบบรวดเร็วแบบ LOM จะใช้แสงเลเซอร์ยิงไปยังแผ่นวัสดุที่วางอยู่บนแท่นรองรับเพื่อตัดชิ้นงานตามเส้น โครงร่างที่ละชั้น โดยในแต่ละชั้นของแผ่นวัสดุจะมีความหนาตั้งแต่ 0.002-0.02 นิ้ว สำหรับเนื้อวัสดุที่ไม่ต้องการจะถูกตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมชิ้นเล็กๆ เพื่อให้ง่ายต่อการแกะออกจากชิ้นงานโดยง่าย เมื่อเลเซอร์ตัดแผ่นวัสดุเสร็จในแต่ละชั้นจะมีลูกกลิ้งร้อนกลิ้งและกดทับแผ่นวัสดุเพื่อให้ความร้อนกับกาวที่อยู่ด้านล่างของแผ่นวัสดุ ทำให้แผ่นวัสดุถูกอัดติดกับชั้นด้านล่าง จากนั้นแท่นรองจะเลื่อนต่ำลง พร้อมกับแผ่นวัสดุสำหรับชั้นถัดไป จะถูกป้อนเข้ามารอสำหรับการตัดกระบวนการดังกล่าวจะถูกดำเนินไปจนชิ้นงานเสร็จ สำหรับเนื้อวัสดุที่นำมาใช้มีหลายแบบเช่น กระดาษ พลาสติก เป็นต้น

2.1.1.2 Fused Deposition Modeling (FDM)



รูปที่ 2.2 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM)

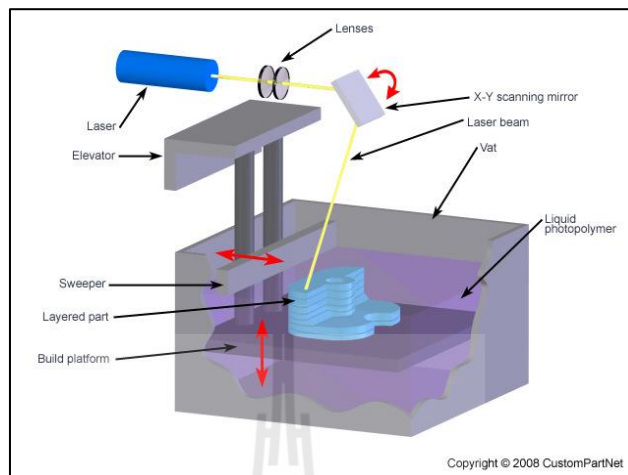
(วรวิภาณี et al., 2549)

หลักการทำงานของเครื่อง FDM จะเริ่มจากเส้นวัสดุจะถูกทำให้หลอมละลายและป้อนเข้ามายังหัวฉีดที่เคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบ ทำหน้าที่ฉีดเนื้อวัสดุที่หลอมละลายลงมาบนแท่นรองรับชิ้นงานตามภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น เมื่อทำเสร็จหนึ่งชั้นแท่นรองรับชิ้นงานจะเลื่อนต่ำลงสำหรับฉีดชั้นถัดไปในแต่ละชั้นจะมีความหนาตั้งแต่ 0.005-0.013 นิ้ว โดยเนื้อวัสดุที่นำมาใช้จะเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทต่างๆเช่น ABS , PC เป็นต้น

2.1.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของเหลว

ในการสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบนี้จะใช้วัสดุตั้งต้นที่เป็นของเหลว มาทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง ด้วยการฉายแสงเลเซอร์หรือแสงอัลตราไวโอเลตลงไปทำปฏิกิริยากับเนื้อวัสดุเหลวที่มีความไวต่อแสงทำให้เกิดการแข็งตัวและเกิดรูปทรงชิ้นงานตามที่ต้องการซึ่งกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

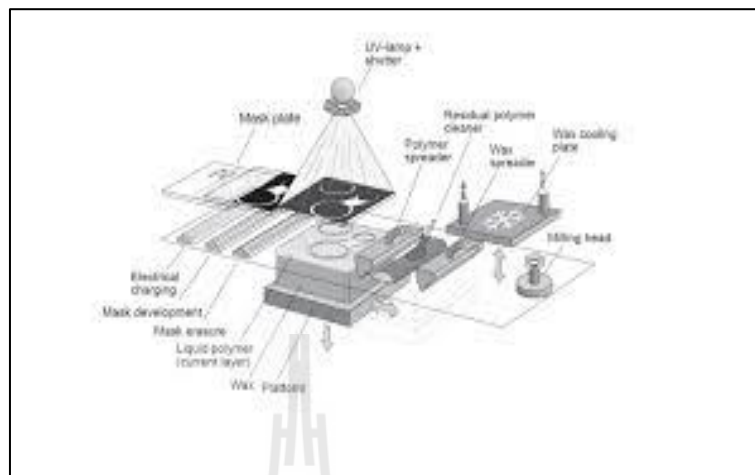
2.1.2.1 Stereolithography Apparatus (SLA)



รูปที่ 2.3 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus (SLA)
(วรวิภาณี et al., 2549)

หลักการทำงานของวิธีนี้จะใช้การยิงแสงอัลตราไวโอเลตลงไปในวัสดุพอลิเมอร์เหลวที่มีความไวต่อแสงสูง ทำให้เนื้อวัสดุเกิดการแข็งตัว ตามภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น หลังจากเสร็จสิ้นทีละชั้นแล้วแท่นลงชิ้นงานจะเลื่อนต่ำลงเพื่อเตรียมพร้อมที่จะทำชั้นถัดไป จนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จ โดยในแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.003 นิ้ว

2.1.2.2 Solid Ground Curing (SGC)



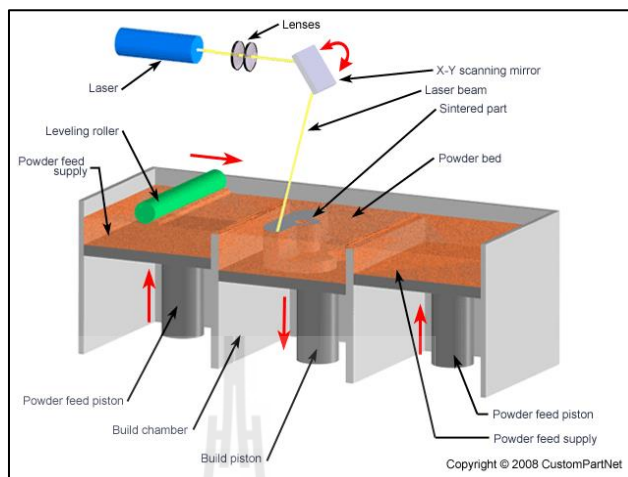
รูปที่ 2.4 แสดงการกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC) (วรวิทย์ et al., 2549)

หลักการทำงานจะคล้ายๆกับเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ จะฉายรังสีประจุไฟฟ้าลงบนแผ่นกระจกตามพื้นที่ภาคตัดขวางในส่วนที่ไม่ใช่เนื้อชิ้นงาน แล้วนำผงหมึกโรยบนแผ่นกระจกให้ทั่ว ผงหมึกจะยึดติดกับกระจกในส่วนที่มีประจุไฟฟ้าทำให้แสงผ่านไม่ได้ ส่วนบริเวณที่เป็นเนื้อชิ้นงานจะไม่มีผงหมึกมาเกาะติดแสงจึงไม่สามารถผ่านได้ตามปกติ หลังจากนั้นนำแผ่นกระจกที่ได้ไปวางเหนือแท่นรองชิ้นงานที่มีฟลูออเรสเซนต์เหลวไวแสงวางอยู่ แล้วฉายแสงอัลตราไวโอเลตลงไปเนื้อฟลูออเรสเซนต์ที่โดนแสงจะแข็งตัวส่วนเนื้อฟลูออเรสเซนต์ที่เหลือจะถูกตัดออกไปแล้วแทนที่ด้วยแว็กซ์แล้วปาดให้เรียบ เพื่อใช้รองรับการทำงานในขั้นถัดไป กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆจนได้ชิ้นงานสำเร็จแล้วจึงนำไปล้างแว็กซ์ออกก่อนนำไปใช้งาน

2.1.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง

การนำวัสดุตั้งต้นที่มีลักษณะแบบผงมาใช้ในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว สามารถทำได้จากการกระบวนการเชื่อมหรือประสาน โดยอาศัยความร้อนจากแสงเลเซอร์ กาว หรือตัวประสานอื่นๆเป็นตัวช่วยให้วัสดุที่เป็นผงยึดติดแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะทำให้เกิดชิ้นงานตามรูปร่างที่ต้องการ ซึ่งการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

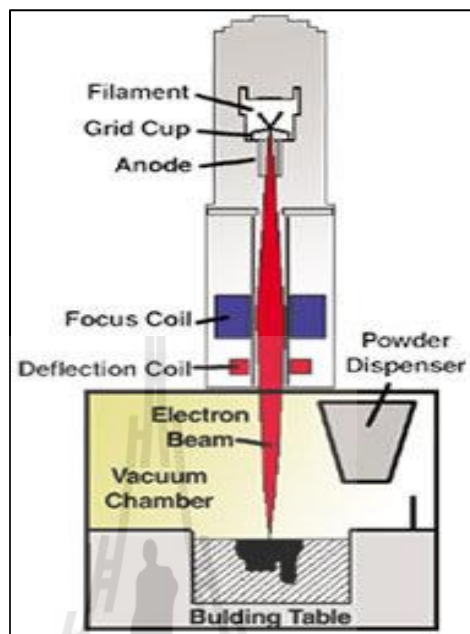
2.1.3.1 Selective Laser Sintering (SLS)



รูปที่ 2.5 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS) (วรวิฑูริ et al., 2549)

หลักการทำงานของกรรมวิธีนี้มีความคล้ายคลึงกับกรรมวิธี SLA มาก โดยจะใช้แสงเลเซอร์ยิงลงบนผงวัสดุตามแนวภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น ซึ่งจะทำให้เนื้อวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงหลอมละลายยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันตามรูปทรงที่ต้องการได้ ในแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.004 นิ้ว เมื่อทำเสร็จหนึ่งชั้นแท่นวางชิ้นงานจะเลื่อนลงและเนื้อวัสดุผงสำหรับชั้นถัดไปจะถูกป้อนเข้ามาด้วยลูกกลิ้ง กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินการไปเรื่อยๆ จนชิ้นงานสำเร็จ ส่วนวัสดุที่นำมาใช้มีทั้งที่เป็นพลาสติกและวัสดุที่เป็นคอมโพสิตต่างๆ

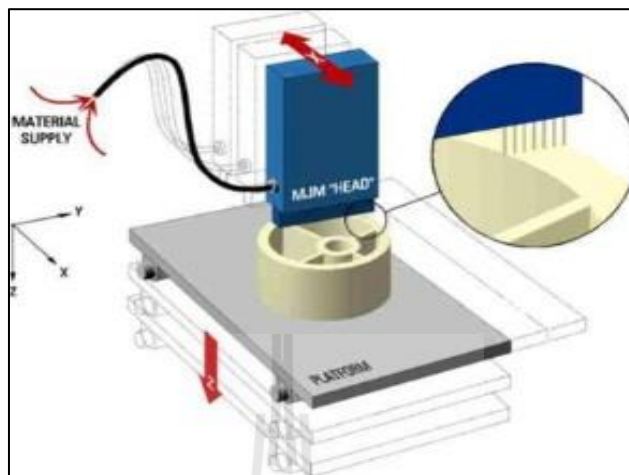
2.1.3.2 Electron Beam Melting (EBM)



รูปที่ 2.6 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Electron Beam Melting (EBM) (วรวิทย์ et al., 2549)

หลักการทำงานของกรรมวิธีนี้จะใช้ลำแสงอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงยิงไปที่กระทบบนผงโลหะทีละชั้นตามภาคตัดขวางของชิ้นงานไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จ ชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธี EBM จะมีความแข็งแรงสูง เพราะโลหะเกิดการหลอมละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกันด้วยความร้อนสูง สามารถนำไปใช้ในการทดสอบหรือใช้งานจริงได้วัสดุที่นำมาใช้จะเป็นผงโลหะ เช่น ผงอลูมิเนียม ผงไททาเนียม เป็นต้น

2.1.3.3 Three-Dimensional Printing (3DP)



รูปที่ 2.7 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3DP)

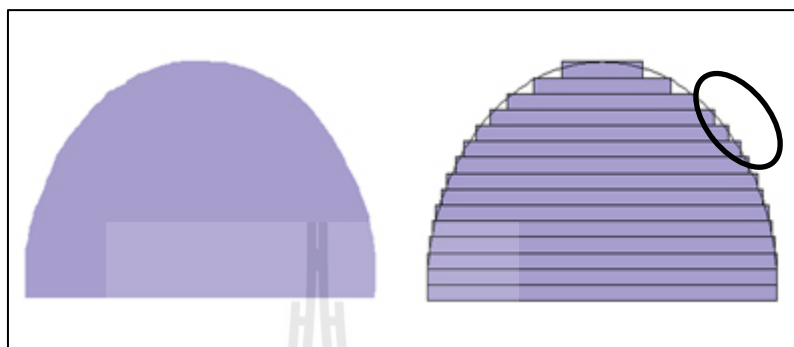
(วรวิฑูลี et al., 2549)

หลักการทำงานของกรรมวิธี 3D Printing จะใช้กาวเป็นตัวประสานให้เนื้อวัสดุผงยึดติดกัน โดยจะมีหัวพิมพ์แบบอิงค์เจต เคลื่อนที่ตามแนวระนาบเพื่อบดกาวลงบนพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.002 นิ้ว เมื่อบดกาวเสร็จในแต่ละชั้นแล้วแท่นรองรับชิ้นงานจะเลื่อนลง และลูกกลิ้งจะเลื่อนเนื้อวัสดุเข้ามารอสำหรับเตรียมทำชั้นต่อไป กรรมวิธี 3D Printing เป็นกรรมวิธีการสร้างต้นแบบได้รวดเร็วกว่าวิธีอื่น โดยในหนึ่งนาทิจำทำได้ 2-4 ชั้น วัสดุที่นำมาใช้มีทั้งที่เป็นผงแป้ง ผงเซรามิกและผงโลหะ

2.2 ทิศทางการวางชิ้นงาน

การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงานถือว่ามีความสำคัญต่อพื้นผิวของชิ้นงานต้นแบบที่จะทำการสร้างขึ้น เนื่องจากการสร้างชิ้นงานต้นแบบจะเป็นการสร้างเป็นชั้นๆต่อกัน ซึ่งเมื่อผิวที่มีลักษณะเป็นผิวโค้งก็จะเกิดลักษณะเหมือนขั้นบันได ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ที่บริเวณขอบชิ้นงาน ดังนั้นบริเวณผิวที่ต้องการความเรียบ ก็ควรที่จะกำหนดให้วางอยู่ในระนาบเดียวกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดลักษณะขั้นบันได นอกจากนี้การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงานยังส่งผลกระทบต่อเวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากทิศทางการวางชิ้นงานที่เหมาะสมจะช่วยลดจำนวนชั้นของแบบจำลองที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบส่งผลให้เวลา

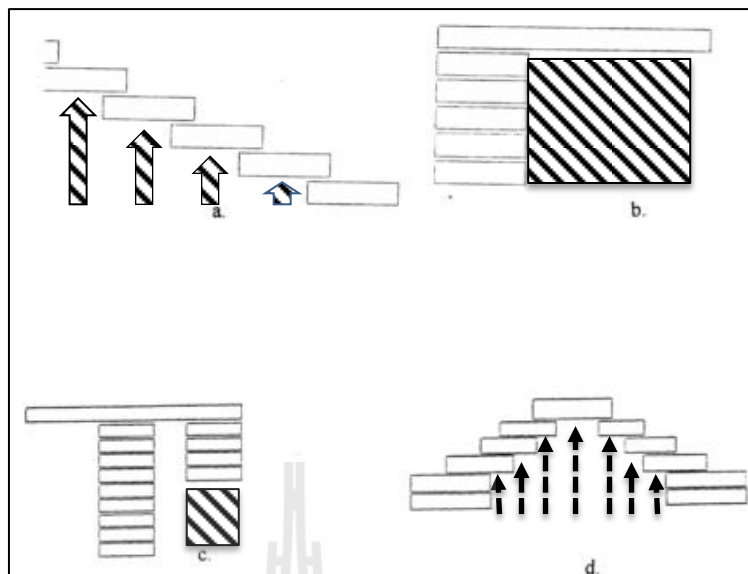
ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบลดลง ซึ่งการวางแผนการวางทิศทางของต้นแบบที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณวัตถุดิบในการสร้างชิ้นงานรวมถึงปริมาณวัตถุดิบในการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน (เป้าทอง, 2555)



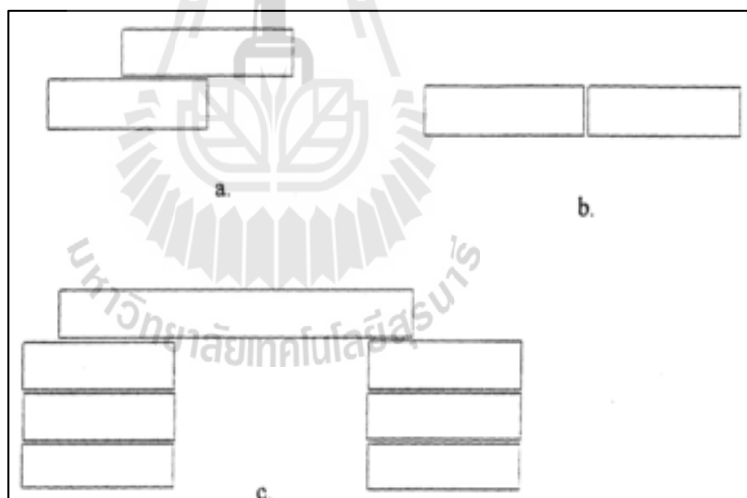
รูปที่ 2.8 แสดงขอบชิ้นงานที่มีลักษณะผิวเป็นชั้นบันได (เป้าทอง, 2555)

2.3 การสร้างฐานรองรับชิ้นงาน

ฐานรองรับชิ้นงานเป็นส่วนที่ถูกเพิ่มเข้าไปเป็นเนื้อวัสดุ เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานต้นแบบบิดงอ เกิดการแอ่น หรือช่วยค้ำยันในส่วนที่ห้อยย้อย หรือยื่นออกมาจากชิ้นงาน นอกจากนี้จะช่วยป้องกันการเสียรูปของตัวชิ้นงานต้นแบบแล้ว ฐานรองรับชิ้นงานยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ชิ้นงานต้นแบบ ช่วยยึดติดชิ้นงานต้นแบบไม่ให้เคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งลักษณะของฐานรองรับชิ้นงานจะแปรผันตามลักษณะของชิ้นงานต้นแบบ และลักษณะทิศทางการวางวัตถุก่อนที่จะทำการสร้างชิ้นงาน โดยการกำหนดทิศทางการวางของวัตถุซึ่งบางครั้งอาจทำให้ไม่ต้องสร้างฐานรองรับชิ้นงาน (Cho, Lee, Choi, & Song, 2000) ซึ่งฐานรองรับชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกจะเป็นประเภทที่ต้องการฐานรองรับชิ้นงาน ซึ่งเทคโนโลยีที่การสร้างต้นแบบรวดเร็วที่ต้องการฐานรองรับชิ้นงานในการสร้างต้นแบบคือ เทคโนโลยี FDM และ SLA ส่วนประเภทที่ 2 เป็นประเภทที่ไม่ต้องการฐานรองรับชิ้นงานในขณะสร้างต้นแบบ ซึ่งประเภทนี้จะเป็นประเภทที่สามารถสร้างฐานรองรับชิ้นงานได้ด้วยตัวเองในขณะสร้างต้นแบบ (Huang et al., 2008) โดยในรูปภาพที่ 2.9 จะแสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ต้องการฐานรองรับชิ้นงาน และรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่ต้องการฐานรองรับชิ้นงาน



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ต้องการฐานรองรับชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995)



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ไม่ต้องการฐานรองรับชิ้นงาน
(Kumar Chalasani et al., 1995)

2.4 โปรแกรม Visual basic

ภาษา BASIC ถูกสร้างในปี ค.ศ. 1963 โดย John Kemeny และ Thomas Kurtz ที่วิทยาลัย Dartmouth ในเบื้องต้นพวกเขามีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาภาษา Basic ขึ้น เพื่อใช้ในการสอนแนวในการเขียนโปรแกรม โดยเน้นที่รูปแบบง่าย ๆ เพื่อสะดวกในการใช้งาน ในปี 1970 Microsoft ได้เริ่มผลิตตัวแปลภาษา Basic ใน Rom ขึ้น เช่น Chip Radio Shack TRS-80 เป็นต้น ต่อมาได้พัฒนาเป็น GWBasic ซึ่งเป็น Interpreter ภาษาที่ใช้กับ MS-Dos และในปี 1982 Microsoft QuickBasic ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยเพิ่มความสามารถในการรันโปรแกรมให้เป็น Executed Program รวมทั้งทำให้ Basic มีความเป็น "Structured Programming" มากขึ้น โดยการตัด Line Number ทิ้งไปเพื่อลบข้อกล่าวหาว่าเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีโครงสร้างในลักษณะ Spaghetti Code มาใช้รูปแบบของ Subprogram และ User Defined รวมทั้งการใช้ Structured Data Type และการพัฒนาการใช้งานด้านกราฟฟิกให้มีการใช้งานในระดับที่สูงขึ้น รวมทั้งมีการใช้เสียงประกอบได้เหมือนกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ เช่น Turbo C และ Turbo Pascal เป็นต้น Visual Basic เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานพัฒนาโปรแกรมบนระบบ Windows เนื่องจาก เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีในลักษณะ Visualize นั่นก็คือจะสะดวกในการหยิบเครื่องมือ เครื่องมือที่โปรแกรมได้จัดเตรียมไว้ให้สำหรับออกแบบหน้าจอและสิ่งต่าง ๆ สำหรับในการเขียนโปรแกรมให้เรียบร้อย ซึ่งแตกต่างจากสมัยก่อนเวลาจะออกแบบหน้าจอก็ยังคงต้องมานั่งเขียน Source Code ให้ลำบาก Visual Basic เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้งาน ที่ใช้ได้ตั้งแต่ระดับต้น เพื่อใช้สร้างโปรแกรมง่าย ๆ บน Windows หรือโปรแกรมเมอร์ระดับกลาง ที่จะเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนโปรแกรมเมอร์ระดับมืออาชีพที่จะพัฒนาโปรแกรมในระดับสูงโดยการใช้ Object Linking and Embedding (OLE) และ Application Programming Interface (API) ของระบบ windows มาประกอบการเขียนโปรแกรม

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic

สาเหตุที่ Visual Basic เป็นภาษาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรมนั้น เนื่องจาก Visual Basic มีข้อดีหลายประการคือ

1. ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งในเรื่องไวยากรณ์ของภาษาเองและเครื่องมือการใช้งาน
2. ความนิยมของตัวภาษา โดยอาจกล่าวได้ว่าภาษา Basic นั้นเป็นภาษาที่คนเรียนรู้และใช้งานมากที่สุดในประวัติศาสตร์ของคอมพิวเตอร์

3. การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านของตัวภาษาและความเร็วของการประมวลผล และในเรื่องของความสามารถใหม่ๆ เช่น การติดต่อกับระบบฐานข้อมูล การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

4. ผู้พัฒนาสำคัญของ Visual Basic คือบริษัทไมโครซอฟท์ซึ่งจัดว่าเป็นยักษ์ใหญ่ของวงการคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เราจึงสามารถมั่นใจได้ว่า Visual Basic จะยังมีการพัฒนา ปรับปรุงและคงอยู่ไปอีกนาน

2.5 โปรแกรม Solid works

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศสเป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้คนออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting) โปรแกรม Solid work เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงานแล้วขนาด จะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งานสามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย

ประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพของSolidWorksเป็นการเจาะลึกให้คนออกแบบสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม และการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทและองค์กร

ลักษณะการทำงาน

SolidWorks แบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part, Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้งสามหมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

Part Mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนที่จะก้าวสู่การทำงานในหมวด Assembly และ Drawing ในขั้นนี้จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้ 2D Sketch เพื่อนำไปสู่การสร้างเป็น 3D Feature และมีเงื่อนไขเป็น Feature-Based Modeling และ Parametric โดยมีการอ้างอิงจาก Solid Mode

1. Feature-Based Modeling คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของ Solid Model ที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้ง่ายและรวดเร็ว

2. Parametric Model คือการออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขขนาดรูปร่าง ทางเรขาคณิตของ Model ที่สร้างขึ้นมา

3. Solid Model คือแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงค่าต่างๆ เช่น Density, Material, Mass, Weight เป็นต้น และยังสามารถมองเห็น 3D Model ได้ทุกมุมมอง

Assembly Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อนำ Part Model เข้าไปประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรือกลไกต่างๆ และมีเงื่อนไขเป็น Feature Base และ Parametric เช่นเดียวกับ Part Model โดย Part Model และ Assembly จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เมื่อทำการแก้ไขในหมวดใด อีก หรือมีการประกอบที่ซ้อนหรือทับกันหมวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการแก้ไขไปด้วย การทำงานใน Assembly สามารถช่วยให้นักออกแบบหรือวิศวกรสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการสร้าง Part ได้โดยการใช้คำสั่งต่างๆ เช่น คำสั่ง Interference Detection เพื่อตรวจสอบการขัดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยใช้คำสั่ง Move Component เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก คำสั่ง Simulation เพื่อจำลองต้นกำลังในการทำงานจริงของเครื่องจักร หรือหากชิ้นงานจำลองที่ออกแบบมีข้อผิดพลาด ก็สามารถแก้ไข Part ใน Assembly ได้เลยทำให้การออกแบบเป็นเรื่องง่ายและผู้ออกแบบจะสนุกกับการทำงาน Design การทำงานใน Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณี ได้แก่

Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆ ที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางในหน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับผู้ใช้ในระดับเริ่มต้นหรือขั้น Basic

Top-Down Assembly คือการสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ระหว่าง Part หรือการสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่น ๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Feature วิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้ในระดับ Advance







Drawing Mode เป็นโหมดการทำงานเพื่อสร้าง 2D Standard Engineering โดยในโหมดนี้เป็นการสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดตามระบบมาตรฐานต่าง ๆ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. Generative Drafting ซึ่งเป็นการสร้าง 2D Sketch และ Interaction Drafting ซึ่งเป็นการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางใน Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting จะมีลักษณะเป็น Parametric และ Relation เช่นกัน แต่จะไม่สามารถใช้คำสั่งใน Drawing Commands ได้ เพราะคำสั่งต่าง ๆ จะต้องอ้างอิงกับ 3D Model

2. Interaction Drafting คือการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวาง Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในโหมดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ

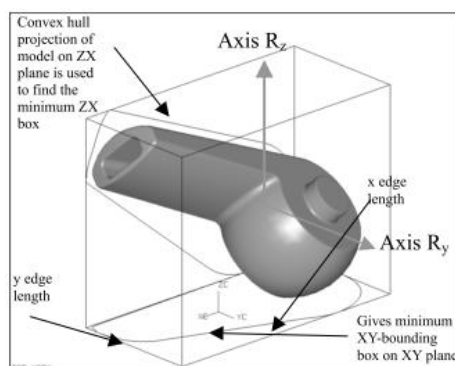
2.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การจัดวางวัตถุในทิศทางต่างๆ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนชิ้นในการสร้างชิ้นงาน ลักษณะของฐานรองชิ้นงาน ลักษณะผิวแบบขึ้นบันได ระยะเวลาการสร้างชิ้นงาน ปริมาณวัตถุตั้งต้นที่ใช้และต้นทุนในการสร้างชิ้นงาน (Mishra & Thirumavalavan, 2014; P. Pandey, Venkata Reddy, & Dhande, 2007; P. M. Pandey, 2010) ดังรูปที่ 2.11 แสดงผลกระทบของการวางวัตถุที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมโดยผลกระทบจากการวางวัตถุที่เหมาะสม คือ ทิศทางการวางวัตถุที่ไม่เกิดลักษณะแบบขึ้นบันได มีปริมาณฐานรองชิ้นงานและมีจำนวนชิ้นที่เหมาะสม ส่วนลักษณะที่ไม่เหมาะสมจะตรงข้ามกับที่กล่าวมาในข้างต้น คือ การที่ผิวชิ้นงานเกิดลักษณะของขึ้นบันได มีปริมาณฐานรองชิ้นงานและมีจำนวนชิ้นที่มากเกินไป ซึ่งความไม่เหมาะสมดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อการสร้างชิ้นงานทั้งในด้านเวลาและต้นทุนที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน

Defect	Build-up orientation	
	Optimised	Non-optimised
Minimise stairstepping effect		
Minimise support structure		
Minimise number of layers		

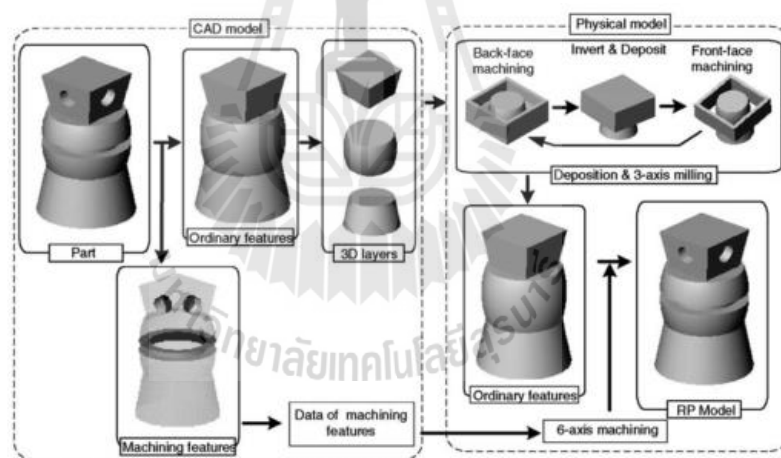
รูปที่ 2.11 แสดงผลกระทบที่เกิดจากทิศทางการจัดทิศทางที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม
(Hur & Lee, 1998)

แนวทางการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุในทิศทางที่เหมาะสมนั้นได้ถูกศึกษาจากนักวิจัยอย่างหลากหลายทั้งในการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางการขึ้นรูปชิ้นงานและการวิเคราะห์การสร้างฐานรองรับชิ้นงาน(Byun & Lee*, 2005; Chan & Tan, 2001; Hua, Leea, & Hurb, 2002; Huang et al., 2008; Karim et al., 2006; Kumar Chalasani et al., 1995; Ziemian & Crown III, 2001) โดยการวิเคราะห์ทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานได้นำกล่องขอบเขต (Bounding Box) เป็นตัวกำหนดระนาบการฉายภาพชิ้นงาน โดยชิ้นงานจะถูกหมุนรอบแกนใดๆ เพื่อระบุภาพฉายในระนาบของกล่องขอบเขตมุมของแกนหมุนที่ทำให้เกิดภาพฉายที่มีพื้นที่น้อยที่สุดจะเป็นทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงาน(Chan & Tan, 2001) ซึ่งในรูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกล่องขอบเขต (Bounding Box)



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกล่องขอบเขต
(Chan & Tan, 2001)

การวิเคราะห์แนวทางการจัดวางทิศทางวัตถุที่เหมาะสมต่อการสร้างฐานรองชิ้นงานภายนอก ในกระบวนการขึ้นรูปแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Artificial Neural Network (ANN) ในการวิเคราะห์ทิศทางที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานน้อยที่สุด ถ้าหากมีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานเท่ากันก็จะพิจารณาเลือกทิศทางที่จำนวนของฐานรองชิ้นงานที่น้อยที่สุด(Karim et al., 2006) การกำหนดทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความเรียบของพื้นผิวชิ้นงาน (R_a) ซึ่งเกิดจากลักษณะผิวแบบขั้นบันได หลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือคุณภาพของพื้นผิวและระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน โดยลักษณะความเรียบของผิวเอียงและพื้นที่รอยต่อของฐานรองชิ้นงานจะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของพื้นผิว ส่วนระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานจะพิจารณาจากปริมาตรของตัวชิ้นงาน(Byun & Lee*, 2005) นอกจากนี้การกำหนดทิศทางการขึ้นรูปในกระบวนการแบบ Hybrid rapid prototyping เป็นสร้างชิ้นงานที่ต้องพิจารณาจาก 2 ส่วน คือพิจารณาที่กระบวนการสร้างชิ้นงานและคุณสมบัติของเครื่องสร้างชิ้นงานร่วมกัน (Hua et al., 2002) โดยกระบวนการวางแผนการดำเนินงาน แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการการกำหนดทิศทางการขึ้นรูปในกระบวนการแบบ Hybrid rapid prototyping (Hua et al., 2002)

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างและการสร้างฐานรองชิ้นงานนั้นก็จะประกอบไปด้วยหลากหลายแนวทาง ทั้งการใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตัดสินใจเลือกฐานรองชิ้นงาน โดยคำนึงถึงคุณภาพของชิ้นงานที่มีความแข็งแรง ระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน ต้นทุนและลักษณะผิวชิ้นงานถูกต้องและต้นทุนในการสร้างชิ้นงานต่ำ(Ziemian & Crawn III, 2001) โดยการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของฐานรองชิ้นงานนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและทิศทางของการขึ้นรูป

ชิ้นงาน(Kumar Chalasani et al., 1995) แนวคิดที่จะช่วยลดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้สร้างฐานรองชิ้นงาน ด้วยการปรับปรุงลักษณะฐานรองชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นผิวเอียง โดยมีการคำนวณทั้งทิศทางของการสร้างชิ้นงานรวมถึงคำนวณมุมที่ฐานรองชิ้นงานจะสามารถรับน้ำหนักของชิ้นงานได้อย่างมั่นคง (Huang et al., 2008)

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid prototype technology) ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากในอดีตจนถึงปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 2.14

Year of inception	Technology
1770	Mechanization
1946	First computer
1952	First Numerical Control (NC) machine tool
1960	First commercial laser
1961	First commercial Robot
1963	First interactive graphics system (early version of Computer Aided Design)
1988	First commercial Rapid Prototyping system

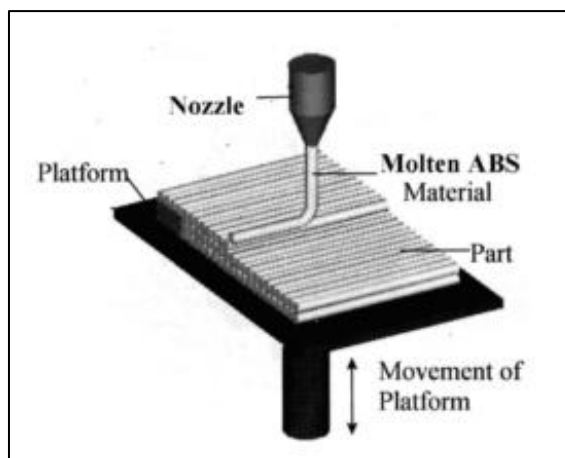
รูปที่ 2.14 แสดงการพัฒนาของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (P. M. Pandey, 2010)

ซึ่งในอดีตในการออกแบบและสร้างชิ้นงานเป็นไปด้วยความยากลำบากและใช้ระยะเวลานานในการสร้างเนื่องจากการในการคิด วิเคราะห์และสร้างชิ้นงานนั้นต้องอาศัยจากความรู้ความสามารถ และประสบการณ์จากผู้ชำนาญเท่านั้น เทคโนโลยีดังกล่าวจึงไม่ได้รับความนิยมที่มากพอ จนได้เริ่มมีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนในปี 1980 ได้มีการนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้าไปช่วยในการสร้างชิ้นงานจึงทำให้การดำเนินการสร้างเป็นไปด้วยความสะดวกมากขึ้นและลดระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน ลดแรงงาน ลดความเสียหาย (P. M. Pandey, 2010) จนเป็นที่รู้จักกันในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้น ในชื่อของการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ อย่างรวดเร็วโดยตรงจาก ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design) และกำลังได้รับความสนใจในทุกภาคส่วน ทั้งทางการแพทย การศึกษา การวิจัย และที่กำลังแพร่หลายและมีความสำคัญกับ การออกแบบ ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาในการส่งสินค้าออกสู่ท้องตลาด ช่วยลดต้นทุน เพิ่มความเข้าใจในตัวผลิตภัณฑ์หรือสินค้าระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น ซึ่งภาคอุตสาหกรรมที่ได้รับความนิยมและประสบผลสำเร็จในการใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วช่วยในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องประดับ การทำเหรียญ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เป็นต้น

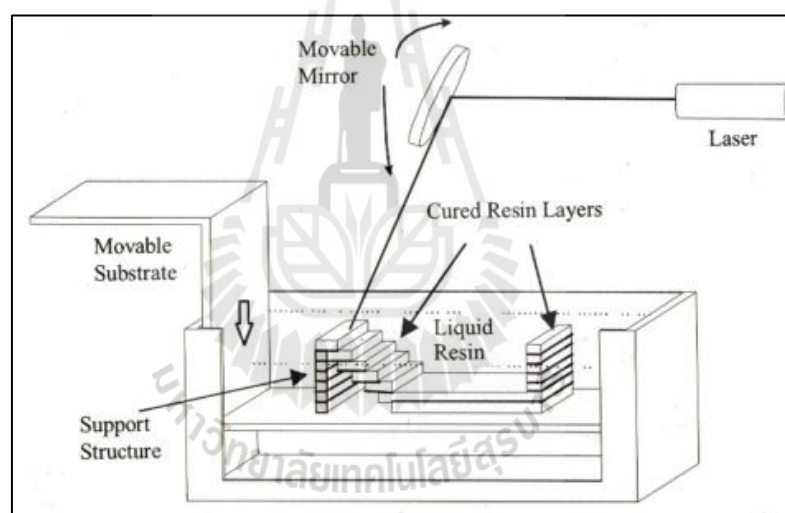
(Yan & Gu, 1996) ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเข้ามาช่วยในการสร้างชิ้นงาน ซึ่งจะสนใจในส่วนของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วประเภทที่ต้องการฐานรองรับงาน (Support structure) ซึ่งการที่จะทราบว่าชิ้นงานจะมีการสร้างฐานรองรับงานหรือไม่นั้นหรือไม่นั้น เป็นผลมาจากลักษณะทิศทางของการวางวัตถุก่อนการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งลักษณะทิศทางของการวางวัตถุก่อนการขึ้นรูปมีผลทั้งกับการวางแผนการสร้างฐานรองรับงานและยังมีส่วนต่อความเรียบของชิ้นงานด้วย ซึ่งเทคโนโลยีที่ต้องการฐานรองรับงานจะประกอบไปด้วย 2 ประเภทคือ Fused Deposition Modeling (FDM) และ Stereolithography Apparatus (SLA) (Cho et al., 2000) ซึ่งรูปแบบกระบวนการสร้างชิ้นงานของทั้ง 2 ประเภทนี้จะมีความแตกต่างกัน โดยการสร้างชิ้นงานแบบ FDM จะใช้เส้นวัสดุที่เป็นของแข็ง มาทำให้หลอมละลายและป้อนเข้ามายังหัวฉีดที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ ฉีดลงมายังแท่นรองรับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ส่วน SLA จะใช้วัสดุที่เป็นของเหลวโดยจะใช้แสงเลเซอร์ตกกระทบบนผิวของเหลว ซึ่งเป็นของเหลวที่ไวต่อแสงทำให้ของเหลวแข็งและยึดติดกันเป็นรูปร่างบนฐานรองรับชิ้นงานทีละชั้นจนได้ชิ้นงานสำเร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะทิศทางของการวางวัตถุก่อนการสร้างชิ้นงาน (Giannatsis & Dedoussis, 2007)



รูปที่ 2.16 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ FDM (P. M. Pandey, 2010)

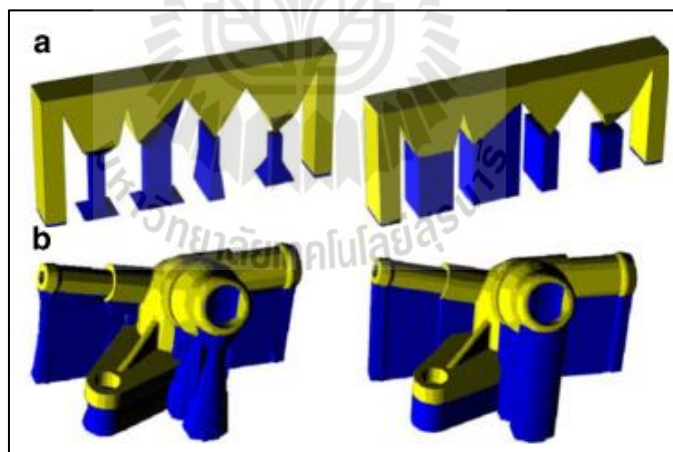


รูปที่ 2.17 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ SLA

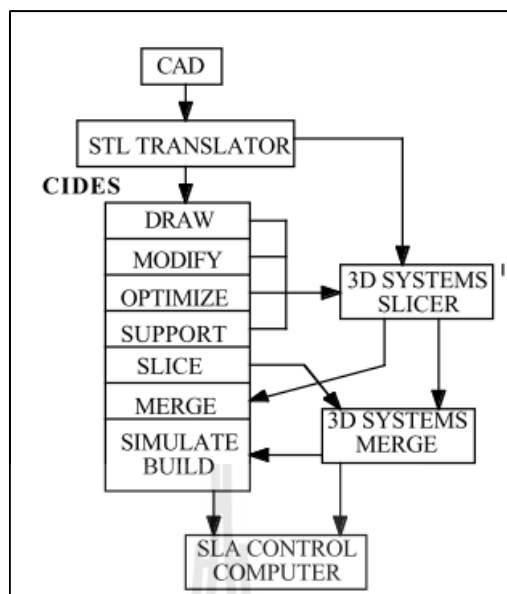
(Kirschman, Jara-Almonte, Bagchi, Dooley, & Ogale, 1991)

ซึ่งการสร้างฐานรองชิ้นงานโดยใช้กรรมวิธีการสร้างต้นแบบ แบบ Fused Deposition Modeling (FDM) และ Stereolithography Apparatus (SLA) ซึ่งได้มีการคิดค้น ทดลอง และ ประยุกต์ การสร้างฐานรองชิ้นงานด้วยกรรมวิธีทั้งสองนี้หลากหลาย โดย (Huang et al., 2008), (Kumar Chalasani et al., 1995) และ (Ziemian & Crawn III, 2001) จะสนใจในการสร้างฐานรอง ชิ้นงานโดยกรรมวิธีแบบ FDM ซึ่ง (Huang et al., 2008) จำทำการปรับปรุงการสร้างฐานรองชิ้นงาน จากที่มีลักษณะเป็นผิวตรงให้มีลักษณะเป็นผิวเอียง โดยกรรมวิธีการคำนวณความสัมพันธ์ของมุม

และด้านเพื่อรองรับชิ้นงาน ได้อย่างเหมาะสม เพื่อลดวัสดุที่นำมาสร้างฐานรองรับชิ้นงาน โดยเป็นการลดค่าใช้จ่ายไปในตัวด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.18 ทางด้านของ (Kumar Chalasani et al., 1995) จะเป็นการแจกแจงแบ่งวิธีการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน เพื่อการแบ่งชิ้นงานอย่างรวดเร็ว โดยจะแบ่งออกเป็น 3 วิธีการคือ สร้างฐานรองรับชิ้นงานล้อมรอบชิ้นงานทั้งหมด สร้างฐานรองรับชิ้นงานในส่วนหนึ่งของพื้นที่ที่ต้องการฐานรองรับชิ้นงานเท่านั้นและการสร้างฐานรองรับชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชิ้นงาน โดยทั้ง 3 วิธีก็จะมีวิธีที่แตกต่างกันและในส่วนของ(Ziemian & Crawn III, 2001)จะเป็นการเน้นในส่วนของการกระบวนการในการตัดสินใจในการสร้างฐานรองรับชิ้นงานให้มีความเหมาะสมกับกรรมวิธีในการสร้างชิ้นงานคือกรรมวิธี FDM เพื่อที่จะสามารถสร้างฐานรองรับชิ้นงานที่มีความเหมาะสมกับชิ้นงานและเหมาะสมกับกรรมวิธีการสร้างชิ้นงาน ซึ่งทางด้านกรรมวิธีกรรมวิธีของ Stereolithography Apparatus (SLA) ที่มีผู้สนใจในการสร้างชิ้นงานและฐานรองรับชิ้นงานด้วยกรรมวิธีนี้จะเป็นการสร้างรูปร่างชิ้นงานและฐานรองรับชิ้นงานความเกี่ยวเนื่องระหว่าง Computer Aided Design กับ SLA ภายใต้เทคโนโลยีของ Clemson Intelligent Design Environment for Stereolithography (CIDES). CIDES โดยทั้งสองจะช่วยประหยัดเวลาของนักออกแบบและผู้ผลิตได้รับการสนับสนุนที่ดีที่สุด โครงสร้างที่ไม่อยู่ภายใต้หรือมากกว่าการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

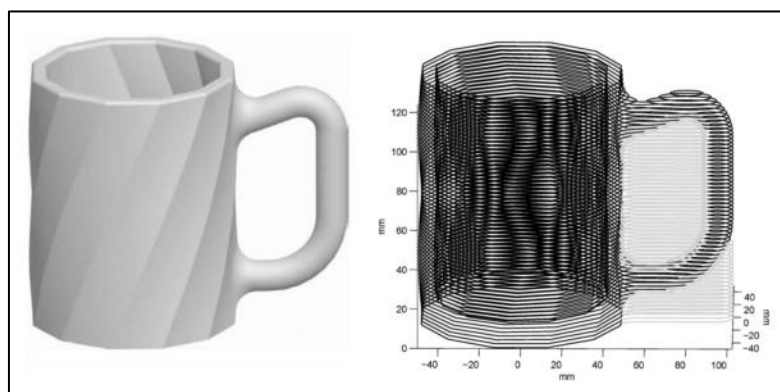


รูปที่ 2.18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฐานรองรับชิ้นงานที่มีผิวตรงและผิวเอียง(Huang et al., 2008)



รูปที่ 2.19 แสดงกลยุทธ์ของ CIDES(Kirschman et al., 1991)

นอกจากนั้นยังมี (Ossino, Barnett, Angeles, Pasini, & Sijpkens, 2009) ทำการออกแบบฐานรองรับชิ้นงานของเหยือกใส่เบียร์โดยทำการพิจารณาการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน 2 แบบคือ สร้างฐานรองรับชิ้นงานแบบครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมด และสร้างฐานรองรับชิ้นงานเฉพาะจุดที่มีความซับซ้อนและเสี่ยงที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการผิดรูป โดยข้อสรุปในการวิจัยคือ การสร้างฐานรองรับชิ้นงานแบบครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมดสามารถทำได้ง่ายกว่าการสร้างฐานรองรับในส่วนที่มีความซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการสร้าง ฐานรองรับชิ้นงานของ เหยือกเบียร์ (Ossino et al., 2009)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

บทนี้นำเสนอการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน และการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ

3.1 การดำเนินงานวิจัย

3.1.1. การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่มีผลต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว โดยใช้ออกแบบชิ้นงาน 3 มิติเป็นชิ้นงานตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางในการจัดวางวัตถุที่มีปริมาตรของฐานรองรับชิ้นงานต่ำที่สุดเพื่อใช้เป็นทิศทางในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย

1. โปรแกรม SolidWorks 2011 ใช้เพื่อสร้างชิ้นงาน 3 มิติสำหรับการทดลอง
2. โปรแกรม Visual Basic ใช้เพื่อเขียนคำสั่งวิเคราะห์กล่องขอบเขตและฐานรองรับชิ้นงานร่วมกับโปรแกรม SolidWorks
3. ซอฟต์แวร์ CatalystEX ใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในการสร้างชิ้นงาน เช่นจำนวนชั้น ระยะเวลา ปริมาตรของชิ้นงาน ร่วมกับเครื่อง 3D Printing Machine
4. เครื่อง 3D Printing Machine ยี่ห้อ Dimension Elite ใช้เพื่อสร้างชิ้นงาน ต้นแบบ โดยสามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบได้ใหญ่ที่สุดขนาด 8x8x12 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ยี่ห้อ Dimension Elite

5. พลาสติก ประเภท ABS ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับสร้างชิ้นงานต้นแบบ ดังแสดงใน

รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงเส้นพลาสติกชนิด ABS

3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน

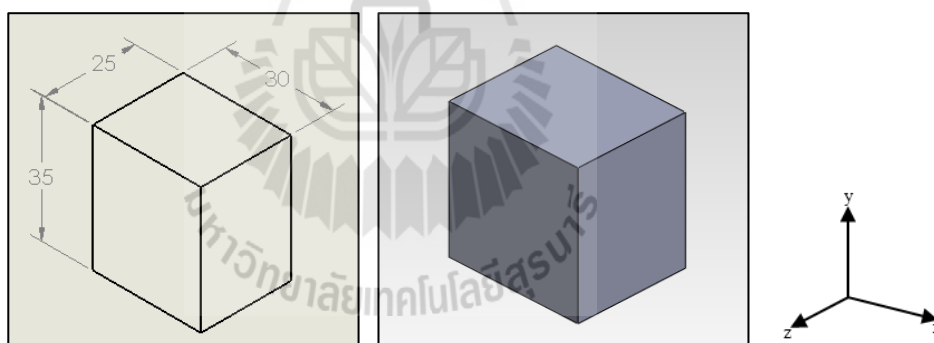
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบกับความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบกับปริมาตรฐานรองชิ้นงาน

3.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานกับความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

การหาความสัมพันธ์ของความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน เพื่อหาความสัมพันธ์ของความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่มีผลต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว โดยการทดลองใช้ชิ้นงาน 3 มิติ เป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นชิ้นงานตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของความสูงและขนาดพื้นที่หน้าตัดต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน โดยจะแบ่งรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 แบบคือ ขนาดความสูงของชิ้นงานคงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดไม่คงที่ และขนาดความสูงของชิ้นงานไม่คงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลอง 3 มิติ กล่องสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าที่ใช้ทำการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีการ สร้างต้นแบบรวดเร็ว

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าการทดลองของการทดลองกลุ่มที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานกับความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

การทดลองที่	ความสูงของชิ้นงาน	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน
1	ไม่คงที่	คงที่
2	คงที่	ไม่คงที่

3.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาตรฐานรองชิ้นงานกับระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน

การหาความสัมพันธ์ของปริมาตรฐานรองชิ้นงานกับระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานในทิศทางที่แตกต่างกัน เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาตรฐานรองชิ้นงานมีผลต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานหรือไม่ โดยใช้รูปแบบชิ้นงาน 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นชิ้นงานตัวอย่างในการทำการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งทิศทางในการหมุนชิ้นงานจะทำการหมุนทั้งหมด 6 ทิศทาง คือ ทิศทาง $x+$, $x-y+$, $y-$, $z+$ และ $z-$ ตามลำดับ โดยวิเคราะห์ปริมาตรที่เกิดขึ้นในทุกทิศทางที่ทำการหมุนเพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ต่อไป

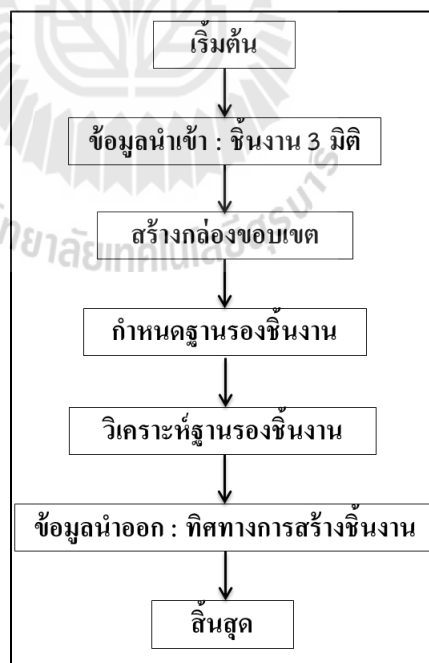


รูปที่ 3.4 แสดงรูปชิ้นงาน 3 มิติสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 2

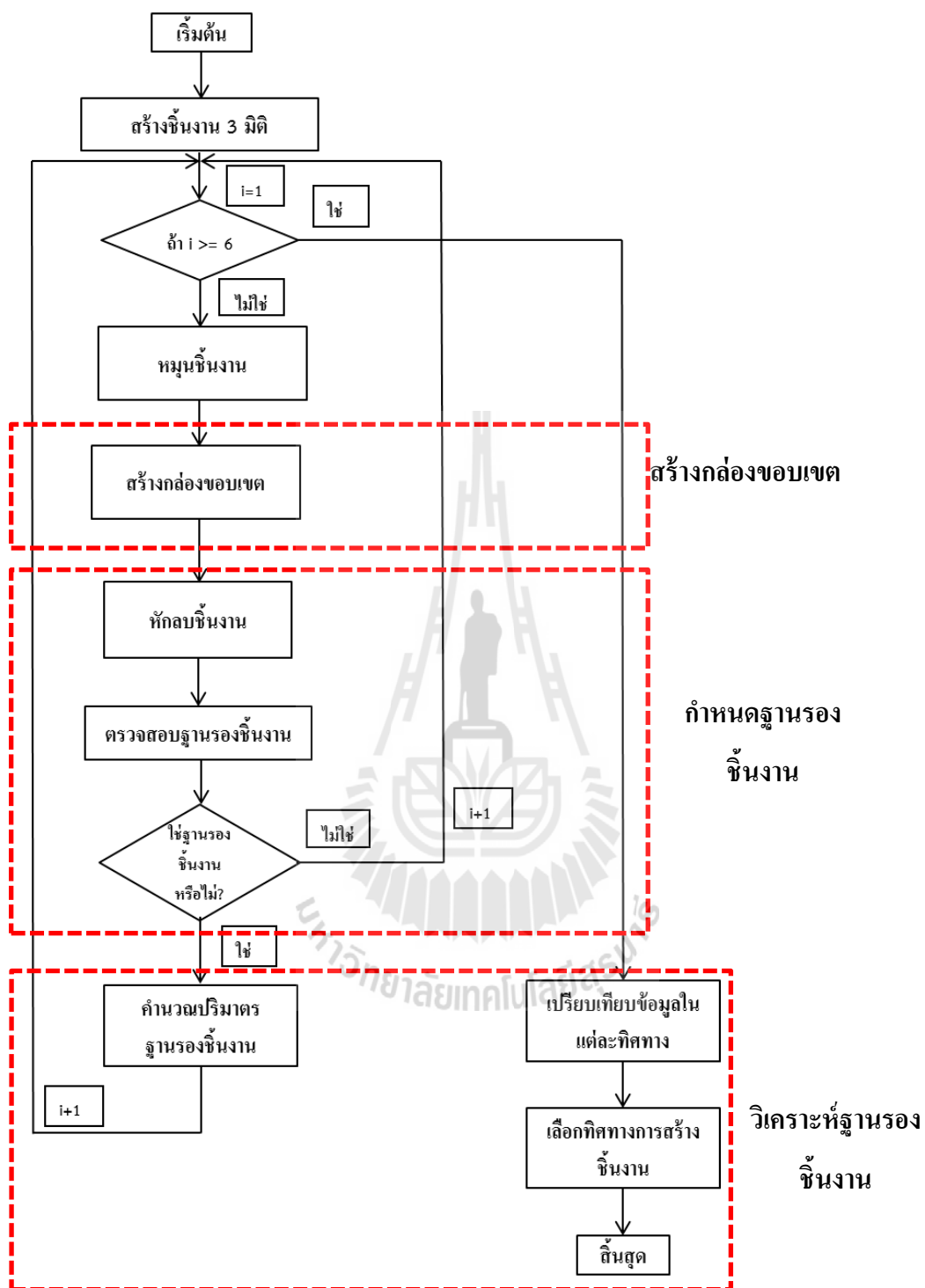
3.3 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ

เป็นการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ โดยใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยวิเคราะห์ทิศทางการวางวัตถุในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Visual

basic ร่วมกับโปรแกรม Solid works วิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วมีปัจจัยนำเข้า (Input) คือ ชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ (3D Model) และปัจจัยนำออก (Output) คือ ทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ส่งผลให้เกิดฐานรองรับชิ้นงานที่มีปริมาตร (Volume) น้อยที่สุด ดังรูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานในการทดลองทั้งหมด โดยเริ่มจากการนำเข้าชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ จากนั้นสร้างกล่องขอบเขต (Create Bounding Box) เพื่อครอบคลุมชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ ซึ่งนำไปสู่การกำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Determining Support Structure) โดยการหักลบกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ และนำส่วนที่เหลือจากการหักลบกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ ไปทำการวิเคราะห์ฐานรองรับชิ้นงาน (Analyzing Support Structure) เพื่อหาทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีความเหมาะสมในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุทั้งหมด 6 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทาง $x+$, $x-$, $y+$, $y-$, $z+$ และ $z-$ ตามลำดับ โดยในการวิเคราะห์ชิ้นงานนี้จะเลือกการสร้างชิ้นงานต้นแบบในทิศทางที่ก่อให้เกิดฐานรองรับชิ้นงานที่มีปริมาตรต่ำสุด ซึ่งในรูปที่ 3.6 จะแสดงกระบวนการวิเคราะห์โดยละเอียด



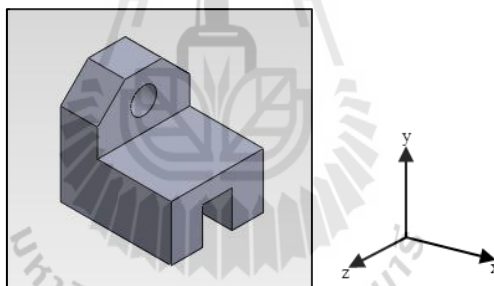
รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการดำเนินทั้งหมด



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียด

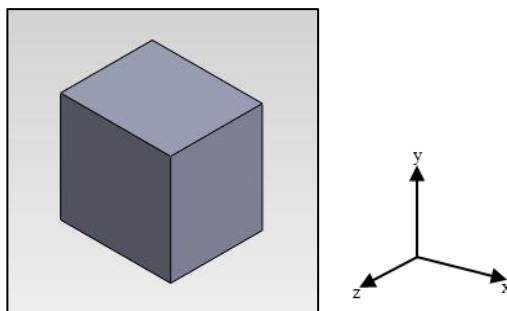
โดยในรูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียด โดยเริ่มจากการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ ทำการหมุนชิ้นงาน 3 มิติ จากนั้นสร้างกล่องขอบเขต และหักเนื้กล่องขอบเขตออกด้วยชิ้นงาน 3 มิติ ทำการตรวจสอบฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้กล่องขอบเขตออกด้วยชิ้นงาน 3 มิติ หากชิ้นงานที่ตรวจสอบเป็นฐานรองชิ้นงาน ทำการคำนวณปริมาตรฐานรองชิ้นงานและหมุนชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ในทิศทางต่อไป หากชิ้นงานที่ตรวจสอบไม่เป็นฐานรองชิ้นงาน จะทำการหมุนชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ในทิศทางถัดไปทันที ซึ่งถ้าหากมีการหมุนทิศทาง การจัดวางวัตถุ 6 ทิศทางแล้ว (ค่า $i = 6$) จะนำปริมาตรที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละทิศทางทั้งหมด 6 ทิศทาง ทำการเปรียบเทียบเพื่อหาทิศทางที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำสุดเพื่อใช้เป็นทิศทางในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

3.3.1 การสร้างชิ้นงานในรูปแบบ 3 มิติ (Creating 3D Model) ในขั้นตอนนี้เป็นการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7



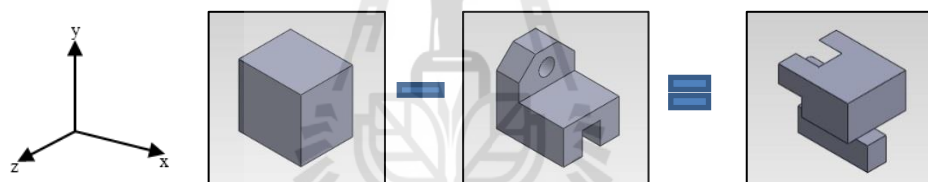
รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างชิ้นงาน 3 มิติที่ออกแบบจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

3.3.2 การสร้างกล่องขอบเขต (Creating Bounding Box) กล่องขอบเขตหมายถึง กล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่สามารถครอบคลุมชิ้นงานได้โดยที่ไม่มีส่วนของชิ้นงานเกินขอบเขต เป็นการสร้างเพื่อครอบคลุมชิ้นงาน 3 มิติ และหักลบชิ้นงาน 3 มิติออกจากกล่องขอบเขต เพื่อทำการวิเคราะห์ฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขตโดยลักษณะของกล่องขอบเขตแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างกล่องขอบเขตที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3.3 การกำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Determining Support Structure) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดฐานรองรับชิ้นงานโดยการหักลบ (Subtract) กล่องขอบเขตด้วยแบบจำลองชิ้นงานต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ แสดงดังสมการที่ 3.1



รูปที่ 3.9 แสดงการหักลบชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากการกล่องขอบเขต

$$\beta_{BB} - \beta_{3D} = \beta_{st} \quad (3.1)$$

เมื่อ β_{BB} กล่องขอบเขต

β_{3D} = แบบจำลองชิ้นงานต้นแบบ

β_{st} = ส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต

โดย $\beta_{st} (P(x_i, y_i, z_i))$ คือจุดมุมที่จะถูกนำไปวิเคราะห์ฐานรองรับชิ้นงานต่อไป

เมื่อ x_i = พิกัดตำแหน่งแกน x ของจุดที่ i

y_i = พิกัดตำแหน่งแกน y ของจุดที่ i

z_i = พิกัดตำแหน่งแกน z ของจุดที่ i

$i = 1, 2, \dots, n$

n = จำนวนมุมทั้งหมดของ β_{st}

3.3.4 การวิเคราะห์ส่วนที่เป็นฐานรองรับงาน (Analyzing Support Structure) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์จากส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต β_{BB} ที่ถูกลบด้วยชิ้นงาน β_{3D} จุดพิกัดของส่วนที่คงเหลือจะถูกนำมาวิเคราะห์ โดยสนใจทิศทางการจัดวางวัตถุที่ไม่มีสร้างฐานรองรับงานหรือฐานรองรับงานจะต้องมีปริมาตรที่ต่ำที่สุด


3.3.4.1 การตรวจสอบส่วนที่เป็นฐานรองรับงาน (Checking Support Area) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบระนาบของชิ้นส่วนที่นำเข้ามาตรวจสอบ และนำค่าระนาบที่ได้จากการตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่าระนาบของกล่องขอบเขต โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองรับงานต่อไป




ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการตรวจสอบลักษณะพื้นที่ที่เป็นฐานรองชิ้นงาน

การหักลบชิ้นงาน	กรณีการตรวจสอบ	เงื่อนไขการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	รูปร่างฐานรองชิ้นงาน
		If $\text{Max}_{01} \{\beta_{st}\} = \text{Max}_{01} \{\beta_{BB}\}$	β_{st} ไม่เป็นฐานรองชิ้นงาน	ไม่มี
		If $\text{Min}_{01} \{\beta_{st}\} = \text{Min}_{01} \{\beta_{BB}\}$	β_{st} เป็นฐานรองชิ้นงาน	
		If $\text{Max}_{01} \{\beta_{st}\} \leq \text{Max}_{01} \{\beta_{BB}\}$ and $\text{Max}_{02} \{\beta_{st}\} \leq \text{Max}_{02} \{\beta_{BB}\}$	β_{st} เป็นฐานรองชิ้นงาน	
		If $\text{Max}_{01} \{\beta_{st}\} \leq \text{Max}_{01} \{\beta_{BB}\}$ and $\text{Min}_{01} \{\beta_{st}\} \geq \text{Min}_{01} \{\beta_{BB}\}$	β_{st} เป็นฐานรองชิ้นงาน	
		If “E” is a space then $\text{Max}_{01} \{E\} \leq \text{Max}_{01} \{\beta_{BB}\}$ and $\text{Min}_{01} \{E\} \geq \text{Min}_{01} \{\beta_{BB}\}$	บริเวณใต้ (E) เป็นฐานรองชิ้นงาน	

เมื่อ

 = ก่อทรงขอบเขต (β_{BB}) และ ชื่นงาน (β_{3D})

 = ส่วนที่เหลือจากก่อกทรงขอบเขต (β_{st})

 = ช่องว่าง (E)

Max Ø1 = จุดสูงสุดในแนวแกน Ø1

Max Ø2 = จุดสูงสุดในแนวแกน Ø2

Min Ø1 = จุดต่ำสุดในแนวแกน Ø1

Min Ø2 = จุดต่ำสุดในแนวแกน Ø2

Ø1 = x±, y±, z±

Ø2 = x±, y±, z±

ในตารางที่ 3.2 ชื่นงานจะถูกหมุนไปในทุกทิศทางทั้งหมด 6 ทิศทาง คือ ทิศทาง x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาตรฐานรองรับชื่นงาน จากการวิเคราะห์ทำให้สามารถระบุส่วนที่เป็นและไม่เป็นฐานรองรับชื่นงานได้ โดยส่วนที่ถูกวิเคราะห์ว่าเป็นฐานรองรับชื่นงานจะถูกนำไปคำนวณปริมาตร เพื่อเปรียบเทียบกับฐานรองรับชื่นงานที่เกิดขึ้นกับการจัดวางวัตถุในทิศทางอื่น การจัดวางในทิศทางที่มีปริมาตรฐานรองรับชื่นงานต่ำที่สุดจะถูกเลือกเป็นทิศทางการจัดวางวัตถุ เพื่อขึ้นรูปชื่นงานต้นแบบ โดยหากมีทิศทางการขึ้นรูปที่ก่อให้เกิดปริมาตรฐานรองรับชื่นงานต่ำสุดเท่ากันจะพิจารณาจำนวนของฐานรองรับชื่นงาน ทิศทางการขึ้นรูปที่มีจำนวนฐานรองรับชื่นงานที่น้อยที่สุดจะเป็นทิศทางที่ถูกเลือกในการจัดวางขึ้นเพื่อการขึ้นรูปชื่นงานต้นแบบต่อไป

3.3.4.2 การคำนวณปริมาตรของฐานรองรับชื่นงาน (Calculating volume support area) ขั้นตอนนี้คำนวณหาปริมาตรชิ้นส่วนที่ผ่านการตรวจสอบมาแล้วว่าชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นฐานรองรับชื่นงาน ซึ่งในการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ เป็นการคำนวณปริมาตรของชื่นงานออกมา ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกไว้

3.3.4.3 การเปรียบเทียบข้อมูล (Comparison data each direction) ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำปริมาตรฐานรองรับชื่นงานในแต่ละทิศทางเปรียบเทียบกับกัน เพื่อหาทิศทางที่มีปริมาตรฐานรองรับชื่นงานต่ำสุดเป็นทิศทางการขึ้นรูปชื่นงานต้นแบบรวดเร็ว

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

บทนี้นำเสนอผลการดำเนินการวิจัย ของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน และการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ ซึ่งมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน นำเสนอได้จากการทดลอง 2 ส่วน คือ 1) ความสูงของชิ้นงานคงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานไม่คงที่ และ 2) ความสูงของชิ้นงานไม่คงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่ ซึ่งในตารางที่ 4.1 แสดงผลของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัดและระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน โดยกำหนดให้ความสูงของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนที่ 5, 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่ที่ 10x10 ตารางมิลลิเมตร ส่งผลให้จำนวนของชิ้นงาน, ปริมาตรชิ้นงาน และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากความสูงของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วน ในขณะที่ปริมาตรฐานรองชิ้นงานที่ค่าคงที่ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยในตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัดและระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน โดยกำหนดให้ความสูงของชิ้นงานมีค่าคงที่ ที่ 10 มิลลิเมตร และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ขนาดเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วน 5x5, 10x10, 15x15, 20x20 ตารางมิลลิเมตรตามลำดับ ส่งผลให้ปริมาตรของชิ้นงาน, ปริมาตรฐานรองชิ้นงาน และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่จำนวนชิ้นของชิ้นงานมีค่าคงที่เนื่องจากขนาดความสูงของชิ้นงานไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองความสูงของชั้นงานไม่คงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชั้นงานคงที่

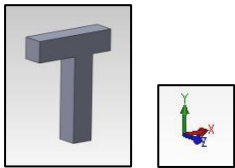
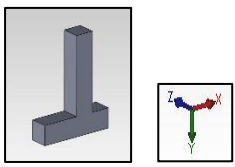
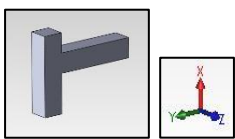
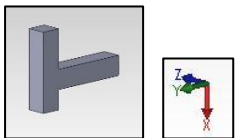
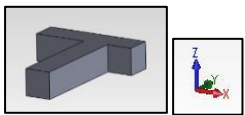
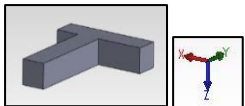
ความสูง ชั้นงาน ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	พื้นที่หน้าตัดชั้นงาน ($\times 10^{-6} \text{ m}^2$)	จำนวนชั้น ชั้นงาน	ปริมาตร ชั้นงาน (m^3)	ปริมาตรฐานรอง ชั้นงาน(m^3)	เวลา (s)
5	10x10	200	4.92×10^{-4}	1.64×10^{-4}	240
10	10x10	400	9.83×10^{-4}	1.64×10^{-4}	420
15	10x10	600	1.31×10^{-3}	1.64×10^{-4}	600
20	10x10	790	1.80×10^{-3}	1.64×10^{-4}	780

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองความสูงของชั้นงานคงที่ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของชั้นงานไม่คงที่

ความสูงชั้นงาน ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	พื้นที่หน้าตัดชั้นงาน ($\times 10^{-6} \text{ m}^2$)	จำนวนชั้น ชั้นงาน	ปริมาตร ชั้นงาน (m^3)	ปริมาตร ฐานรองชั้นงาน (m^3)	เวลา (s)
10	5x5	400	3.28×10^{-4}	0	240
10	10x10	400	9.83×10^{-4}	1.64×10^{-4}	420
10	15x15	400	1.97×10^{-3}	3.28×10^{-4}	600
10	20x20	400	3.44×10^{-3}	4.91×10^{-4}	840

ในตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการสร้างชั้นงานกับ ปริมาตรฐานรองชั้นงาน โดยขนาดของชั้นงานคือ 20x5x25 มิลลิเมตร ปริมาตร 9.83×10^{-5} ลูกบาศก์ มิลลิเมตร ทำการขึ้นรูปชั้นงานทั้งหมด 6 ทิศทางคือ ทิศทาง x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับ ซึ่ง ส่งผลให้ จำนวนชั้นของชั้นงาน ปริมาตรฐานรองชั้นงาน และระยะเวลาในการสร้างชั้นงาน มีการ เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางทางการจัดวางวัตถุแบบอัตราส่วนที่ไม่คงที่ ในขณะที่ปริมาตรของ ชั้นงานที่ค่าคงที่

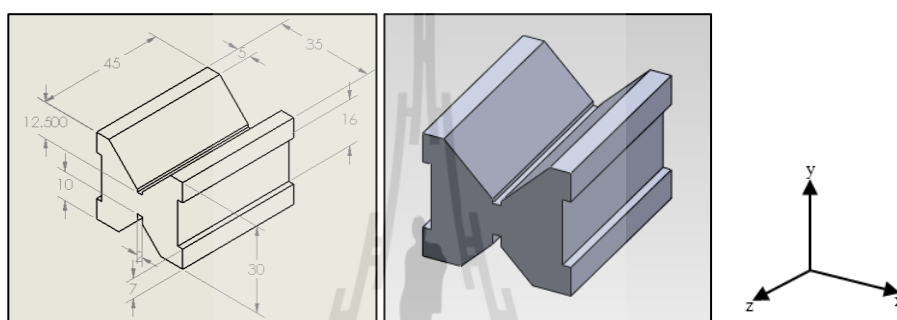
ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาตรของฐานรองชั้นงานและระยะเวลาในการสร้างชั้นงานในแต่ละทิศทาง

ทิศทางการหมุน	จำนวนชั้น ชั้นงาน	ปริมาตรชั้นงาน (m^3)	ปริมาตร ฐานรองชั้นงาน (m^3)	เวลา (s)
	990	9.83×10^{-4}	1.64×10^{-3}	1980
	990	9.83×10^{-4}	1.64×10^{-4}	600
	790	9.83×10^{-4}	8.19×10^{-4}	1080
	790	9.83×10^{-4}	6.56×10^{-4}	840
	200	9.83×10^{-4}	3.28×10^{-4}	420
	200	9.83×10^{-4}	3.28×10^{-4}	420

4.2 ผลการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ

การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ สามารถแสดงโดยผ่านกรณีศึกษา 2 กรณีดังต่อไปนี้

4.2.1 กรณีศึกษาที่ 1

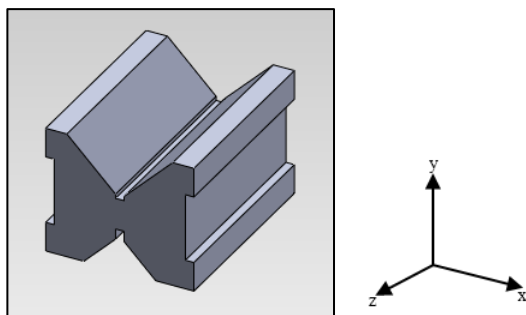


รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในกรณีศึกษาที่ 1

ชิ้นงาน 3 มิติ (3D-CAD Model) ที่นำมาวิเคราะห์การจัดวางวัตถุแสดงในรูปที่ 4.1 มีขนาดเท่ากับ $35 \times 45 \times 30$ mm ปริมาตร 8.11×10^4 mm³ โดยมีขนาดกล่องขอบเขตเท่ากับ $35 \times 45 \times 30$ mm ปริมาตร 4.73×10^4 mm³ เมื่อทำการหักเนื้อชิ้นงาน (β_{3D}) ออกจากกล่องขอบเขต (β_{BB}) จะเหลือชิ้นส่วนหลังจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขตจำนวน 3 ชิ้น ซึ่งมีปริมาตรรวมของของส่วนที่เหลือ (β_{st}) เท่ากับ 1.34×10^4 mm³ ซึ่งลักษณะฐานรองรับชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทางการจัดวางชิ้นงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ทิศทางคือ $x+$, $x-$, $y+$, $y-$, $z+$ และ $z-$ ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

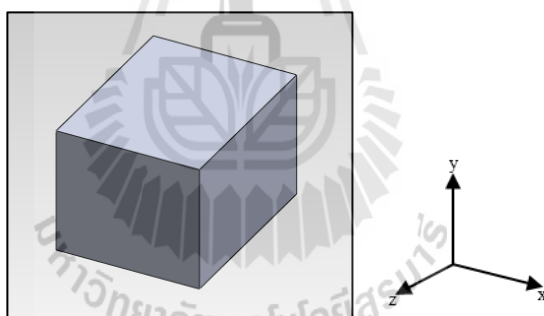
การจัดวางชิ้นงานใน ทิศทาง $y+$ และ $y-$ (แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก)

สร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดลอง แสดงในรูปที่ 4.2



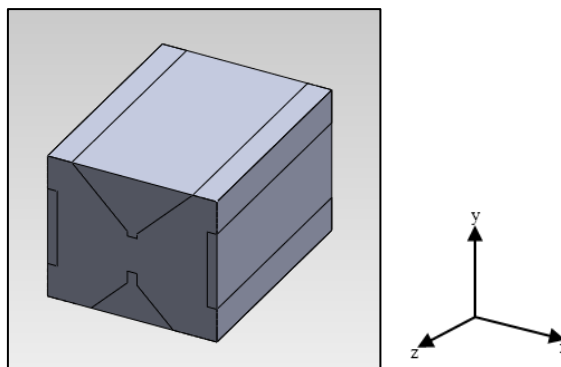
รูปที่ 4.2 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+ และ y-

สร้างกล่องขอบเขตครอบคลุมชิ้นงาน 3 มิติ (แสดงคำสั่งการสร้างในภาคผนวก ข) เพื่อเตรียมหักลบด้วยชิ้นงาน 3 มิติออกจากกล่องขอบเขต เพื่อทำการวิเคราะห์ฐานรองรับชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขตโดยลักษณะของกล่องขอบเขตแสดงดังรูปที่ 4.3

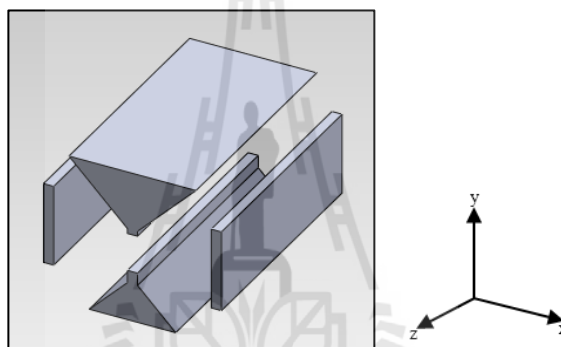


รูปที่ 4.3 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ

การกำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Determining Support Structure) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดฐานรองรับชิ้นงานโดยการหักลบ (Subtract) กล่องขอบเขตด้วยแบบจำลองชิ้นงานต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



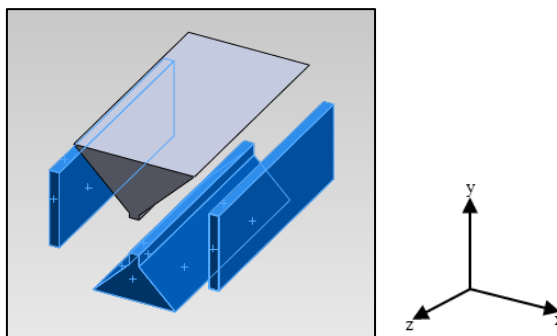
รูปที่ 4.4 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต



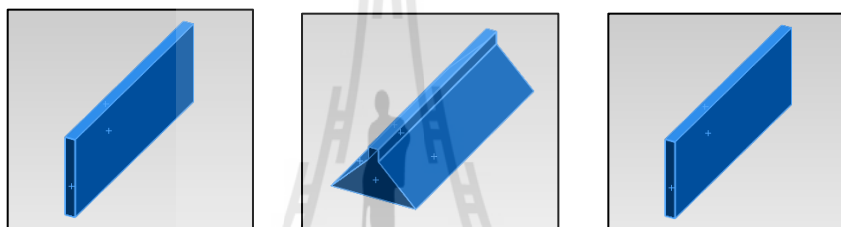
รูปที่ 4.5 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

จากนั้นทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต β_{BB} ที่ถูกลบด้วยชิ้นงาน β_{3D} โดยสนใจทิศทางการจัดวางวัตถุที่ไม่ต้องสร้างฐานรองรับชิ้นงานหรือฐานรองรับชิ้นงานที่มีปริมาตรที่ต่ำที่สุด (แสดงคำสั่งการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข)

ทำการตรวจสอบระนาบของชิ้นส่วนที่นำเข้ามาตรวจสอบ และนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลจุดมุมของกล่องขอบเขต โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองรับชิ้นงานต่อไป โดยในรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงตำแหน่งของฐานรองรับชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขต และรูปร่างฐานรองรับชิ้นงาน



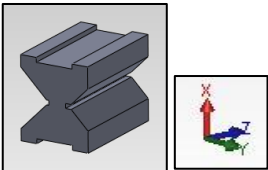
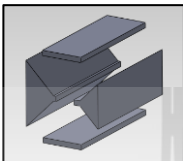
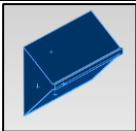
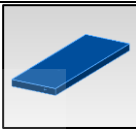
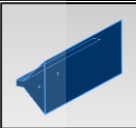
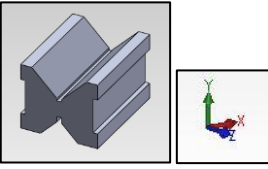
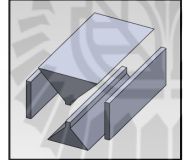



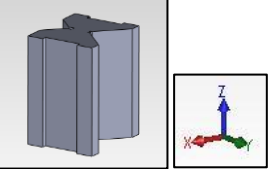
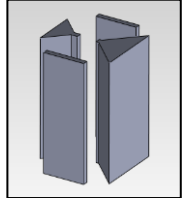
รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของฐานรองรับงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน
ออกจากกล่องขอบเขต



รูปที่ 4.7 แสดงรูปทรงฐานรองรับงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+ และ y-

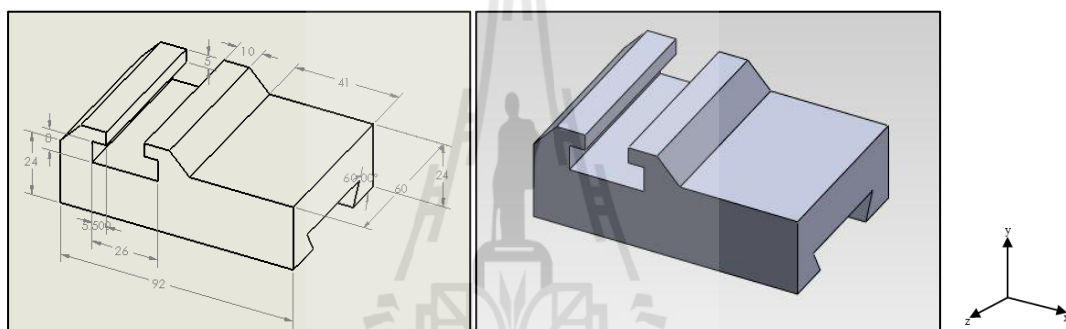
โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุและปริมาตรฐานรองรับงานครบ 6 ทิศทาง
สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.4 (แสดงคำสั่งการหาปริมาตรในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.4 การจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป

ทิศทางการจัดวางชิ้นงาน	ตำแหน่งฐานรองชิ้นงาน	ลักษณะฐานรองชิ้นงาน	ปริมาตรฐานรองชิ้นงาน(mm ³)
 ทิศทาง x+ และ x-			1.19x10 ⁴
			
			
 ทิศทาง y+ และ y-			6.31x10 ³
			
			
 ทิศทาง z+ และ z-		ไม่มีฐานรองชิ้นงาน	0

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาตรของฐานรองชิ้นงานในแต่ละแนวแกนการขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ทิศทางการสร้างชิ้นงานที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดได้แก่ ทิศทาง z+ และ z- ซึ่งไม่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงาน รองลงมาคือทิศทาง y+ และ y- มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากัน เท่ากับ $6.31 \times 10^3 \text{ mm}^3$ และทิศทาง x+ และ x- ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากัน เท่ากับ $1.19 \times 10^4 \text{ mm}^3$ ตามลำดับ ดังนั้น ทิศทางการสร้างชิ้นงานตัวอย่างในแนวแกน z+ และ z- เป็นทิศทางที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง เนื่องจากมีปริมาตรฐานรองชิ้นงานที่ต่ำที่สุด โดยจะส่งผลต่อปริมาณการใช้วัตถุดิบในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วที่น้อยสุด

4.2.2 กรณีศึกษาที่ 2

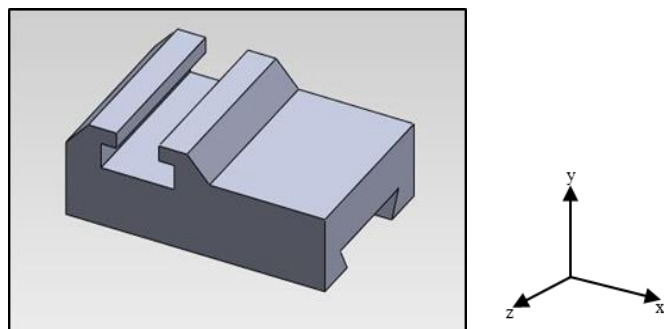


รูปที่ 4.8 แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในตัวอย่างที่ 2

ชิ้นงาน 3 มิติ (3D-CAD Model) ที่นำมาวิเคราะห์การจัดวางวัตถุแสดงในรูปที่ 4.8 มีขนาดเท่ากับ $92 \times 32 \times 60 \text{ mm}$ ปริมาตร $1.11 \times 10^5 \text{ mm}^3$ โดยมีขนาดกล่องขอบเขตเท่ากับ $80 \times 215 \times 60 \text{ mm}$ ปริมาตร $1.77 \times 10^5 \text{ mm}^3$ เมื่อทำการหักเนื้อชิ้นงาน (β_{3D}) ออกจากกล่องขอบเขต (β_{BB}) จะเหลือชิ้นส่วนภายหลังจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขตจำนวน 4 ชิ้น ซึ่งมีปริมาตรรวมของของส่วนที่เหลือ (β_{st}) เท่ากับ $6.60 \times 10^4 \text{ mm}^3$ ซึ่งลักษณะฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามแต่ละทิศทางการจัดวางชิ้นงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ทิศทางคือ x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

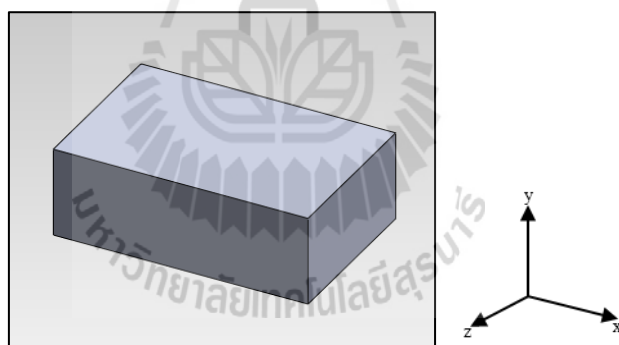
การจัดวางชิ้นงานในทิศทาง y+ (แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก)

สร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดลอง ดังในรูปที่ 4.9



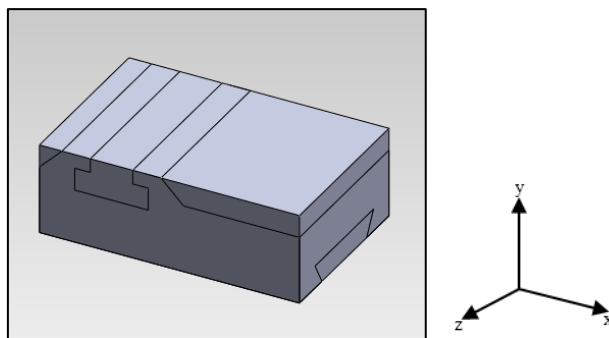
รูปที่ 4.9 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+

สร้างกล่องขอบเขตครอบคลุมชิ้นงาน 3 มิติ (แสดงคำสั่งการสร้างในภาคผนวก ข) เพื่อเตรียมหักลบด้วยชิ้นงาน 3 มิติออกจากกล่องขอบเขต เพื่อทำการวิเคราะห์ฐานรองรับชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขตโดยลักษณะของกล่องขอบเขต แสดงดังรูปที่ 4.10

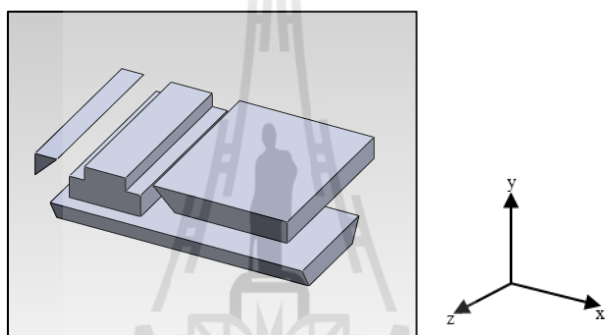


รูปที่ 4.10 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ

การกำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Determining Support Structure) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดฐานรองรับชิ้นงานโดยการหักลบ (Subtract) กล่องขอบเขตด้วยแบบจำลองชิ้นงานต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12



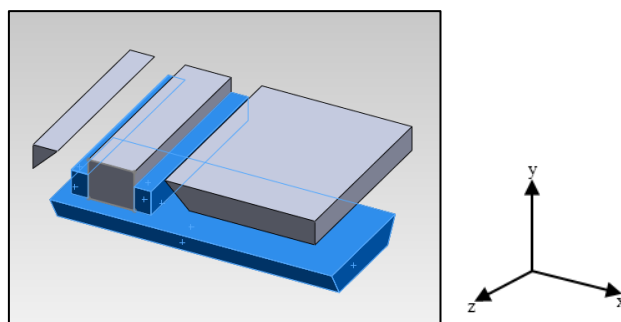
รูปที่ 4.11 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต



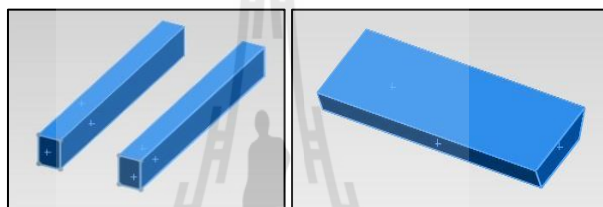
รูปที่ 4.12 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

ทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต β_{BB} ที่ถูกลบด้วยชิ้นงาน β_{3D} โดยสนใจทิศทางการจัดวางวัตถุที่ไม่ต้องสร้างฐานรองชิ้นงานหรือฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตรที่ต่ำที่สุด (แสดงคำสั่งการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข)

ทำการตรวจสอบระนาบของชิ้นส่วนที่นำเข้ามาตรวจสอบ และนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลจุดมุมของกล่องขอบเขต โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองชิ้นงานต่อไป โดยในรูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขต และรูปร่างฐานรองชิ้นงาน โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุและปริมาตรฐานรองชิ้นงานครบ 6 ทิศทาง สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.5 (แสดงคำสั่งหาปริมาตรในภาคผนวก ข)

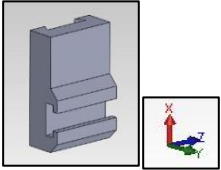
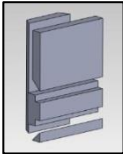
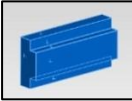
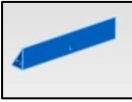
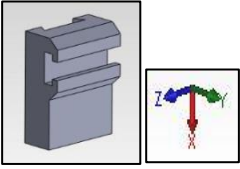
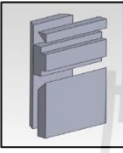
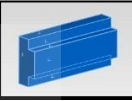

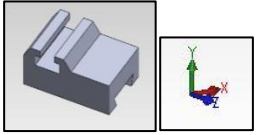
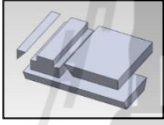
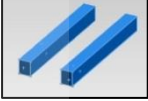
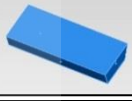
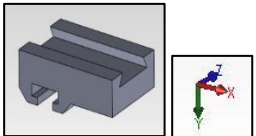
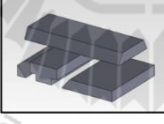


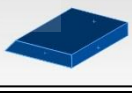
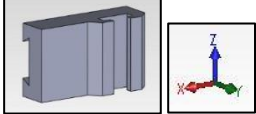
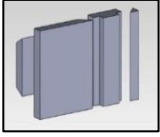

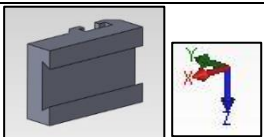
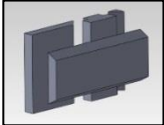
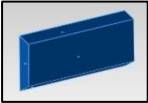


รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน
ออกจากกล่องขอบเขต



รูปที่ 4.14 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+

ตารางที่ 4.5 สรุปการจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป

ทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงาน	ตำแหน่งฐานรองชิ้นงาน	ลักษณะฐานรองชิ้นงาน	ปริมาตรฐานรองชิ้นงาน (mm ³)
 ทิศทาง x+		 	1.89x10 ⁴
 ทิศทาง x-		 	
 ทิศทาง y+		 	3.08x10 ⁴
 ทิศทาง y-		  	4.05x10 ⁴
 ทิศทาง z+			2.55x10 ⁴
 ทิศทาง z-			2.55x10 ⁴

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาตรของฐานรองชิ้นงานในแต่ละแนวแกนการขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า ทิศทางการสร้างชิ้นงานที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดได้แก่ ทิศทาง y+ ซึ่งมีปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $1.89 \times 10^4 \text{ mm}^3$ รองลงมาคือทิศทาง z+ และ ทิศทาง z- มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $2.55 \times 10^4 \text{ mm}^3$, ทิศทาง y+ ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $3.08 \times 10^4 \text{ mm}^3$, ทิศทาง x- ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $3.86 \times 10^4 \text{ mm}^3$ และทิศทาง y- ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $4.05 \times 10^4 \text{ mm}^3$ ตามลำดับ ดังนั้น ทิศทางการสร้างชิ้นงานตัวอย่างในแนวแกน x+ จะเป็นทิศทางที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง เนื่องจากมีปริมาตรฐานรองชิ้นงานที่ต่ำที่สุด โดยจะส่งผลต่อปริมาณการใช้วัตถุดิบในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วที่น้อยสุด



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้เสนอการสรุปผลของการวิจัย การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานและการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงาน ต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัย เมื่อชิ้นงานที่ความสูงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้จำนวนชั้นของชิ้นงานและปริมาตรของชิ้นงานมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในทางกลับกันเมื่อพื้นที่หน้าตัดมีการขยายกว้างขึ้นจำนวนชั้นของชิ้นงานและปริมาตรของชิ้นงานก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นระยะเวลา (T) ในการสร้างชิ้นงานจึงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับฟังก์ชันของความสูง (h) และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (a) ดังแสดงในสมการที่ 5.1 นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานกับปริมาณฐานรองรับชิ้นงาน โดยปริมาตรฐานรองรับชิ้นงานมีความสัมพันธ์แบบไม่มีนัยสำคัญกับระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน

$$T \propto f(h,a) \quad (5.1)$$

โดยสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติ โดยการใช้ โปรแกรม Solid works ร่วมกับ โปรแกรม Visual basic ช่วยในการวิเคราะห์รูปทรง 3 มิติ โดยทฤษฎีการหักเหวัสดุ ออก แล้ววิเคราะห์โดยใช้จุดมุมของชิ้นงานเพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองรับชิ้นงาน เพื่อวิเคราะห์หาทิศทางที่มีฐานรองรับชิ้นงานที่มีปริมาตรต่ำสุดเป็นทิศทางในการขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป

5.1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้าง ชิ้นงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานกับความสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานมีความสัมพันธ์กันในเชิงสมการเส้นตรง เมื่อความสูงของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นจำนวนชั้นและปริมาตรของชิ้นงานก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันเมื่อขนาดของพื้นที่หน้าตัดขยายใหญ่ขึ้นจำนวนชั้นและปริมาตรของชิ้นงานก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ปริมาตรของฐานรองรับชิ้นงานยังมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ซึ่งทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานส่งผลต่อความสูงของชิ้นงาน จำนวนชั้นของชิ้นงานและปริมาตรฐานรองรับชิ้นงาน

5.1.2 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี การพิมพ์แบบ 3 มิติ

การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางชิ้นงานต้นแบบ โดยการวิเคราะห์ส่วนที่เหลือของกล่องขอบเขตของชิ้นงาน ทำให้สามารถระบุรูปร่างฐานรองรับชิ้นงานและปริมาณการใช้วัตถุตั้งต้น ซึ่งการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธีการพิมพ์แบบ 3 มิติทำการวิเคราะห์ชิ้นงาน 3 มิติด้วยวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งทิศทางที่มีปริมาตรของฐานรองรับชิ้นงานต่ำที่สุดจะเป็นทิศทางที่ถูกเลือกเพื่อใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบจริง

5.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. เป็นองค์ความรู้ในงานวิจัยด้านการสร้างต้นแบบรวดเร็ว
2. สามารถวางแผนการสร้างชิ้นงานในการสร้างต้นแบบรวดเร็วในทิศทางที่เหมาะสม เพื่อลดเวลาการสร้างต้นแบบและประหยัดวัตถุดิบตั้งต้น
3. เป็นแนวทางในการประยุกต์การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำและประหยัดเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยต่อไป

1. การวิเคราะห์รูปร่างฐานรองรับชิ้นงานได้หลากหลายยิ่งขึ้น
2. สร้างโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้หลากหลายรูปทรง
3. สร้างโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ได้เป็นอัตโนมัติ
4. ใช้ระยะเวลาเป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ทิศทางการสร้างชิ้นงาน

รายการอ้างอิง

- Byun, H.-S., & Lee*, K. H. (2005). Determination of the optimal part orientation in layered manufacturing using a genetic algorithm. **International journal of production research**, **43**(13), 2709-2724.
- Cao, W., & Miyamoto, Y. (2003). Direct slicing from AutoCAD solid models for rapid prototyping. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **21**(10-11), 739-742.
- Chan, C., & Tan, S. (2001). Determination of the minimum bounding box of an arbitrary solid: an iterative approach. **Computers & Structures**, **79**(15), 1433-1449.
- Cho, I., Lee, K., Choi, W., & Song, Y.-A. (2000). Development of a new sheet deposition type rapid prototyping system. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, **40**(12), 1813-1829.
- Giannatsis, J., & Dedoussis, V. (2007). Decision support tool for selecting fabrication parameters in stereolithography. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **33**(7-8), 706-718.
- Guo, K. B., Zhang, L. C., Wang, C. J., & Huang, S. H. (2006). Boolean operations of STL models based on loop detection. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **33**(5-6), 627-633. doi: 10.1007/s00170-006-0487-5
- Hua, Z., Leea, K., & Hurb, J. (2002). Determination of optimal build orientation for hybrid rapid-prototyping. **Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 378–383**.
- Huang, X., Ye, C., Wu, S., Guo, K., & Mo, J. (2008). Sloping wall structure support generation for fused deposition modeling. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **42**(11-12), 1074-1081. doi: 10.1007/s00170-008-1675-2
- Hur, J., & Lee, K. (1998). The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **14**(4), 247-254.

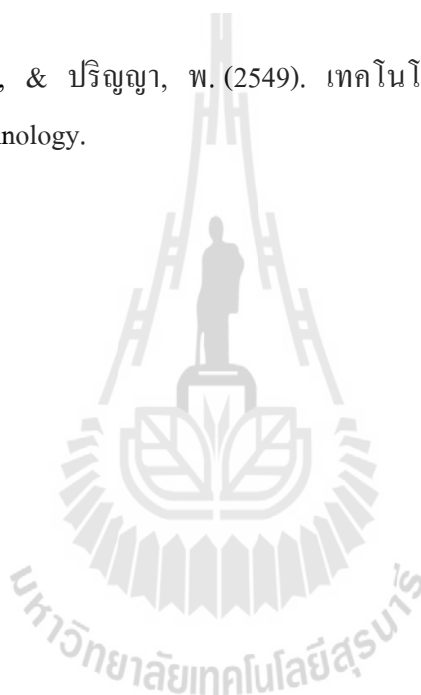
- Karim, K. F., Hazry, D., Zulkifli, A. H., Ahmed, S. F., Joyo, M. K., Razlan, Z. M., . . . Bakar, S. A. (2006). FEATURE-BASED SUPPORT GENERATION FOR OPTIMUM PART DEPOSITION ORIENTATION IN FDM. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, 9.
- Kirschman, C., Jara-Almonte, C., Bagchi, A., Dooley, R., & Ogale, A. (1991). **Computer aided design of support structures for stereolithographic components**. Paper presented at the Proceedings of the 1991 ASME Computers in Engineering Conference.
- Kumar Chalasani, S. I., Minneapolis,USA., Larry Jones, S., Cincinnati,USA., & Larry Roscoe, S. I., Minneapolis,USA. (1995). Support Generation for Fused Deposition Modeling. 229-241.
- Kumar, V., & Dutta, D. (1997). An assessment of data formats for layered manufacturing. **Advances in Engineering Software**, 28(3), 151-164.
- MIHAIELA, I., Department, M. T., Bucharest, P. U. o., Street, S. I. n., & ROMANIA. Design and Rapid Prototyping–Main Steps in Product Development.
- Mishra, A. K., & Thirumavalavan, S. (2014). A Study of Part Orientation in Rapid Prototyping. **Middle-East Journal of Scientific Research**, 20(9), 1197-1201.
- Ossino, A., Barnett, E., Angeles, J., Pasini, D., & Sijpkens, P. (2009). Path planning for robot-assisted rapid prototyping of ice structures. **Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering**, 33(4), 689.
- Pandey, P., Venkata Reddy, N., & Dhande, S. (2007). Part deposition orientation studies in layered manufacturing. **Journal of Materials Processing Technology**, 185(1), 125-131.
- Pandey, P. M. (2010). RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGIES, APPLICATIONS AND PART DEPOSITION PLANNING. Retrieved October, 15.
- Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 38(10–11), 1257-1287. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(97\)00137-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(97)00137-5)
- Soonanon, P., & Koomsap, P. (2009). Towards direct transformation of orthographic-view drawings into a prototype. **Virtual and Physical Prototyping**, 4(2), 75-90.
- Yan, X., & Gu, P. (1996). A review of rapid prototyping technologies and systems. **Computer-Aided Design**, 28(4), 307-318. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485\(95\)00035-6](http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485(95)00035-6)

Ziemian, C., & Crawn III, P. (2001). Computer aided decision support for fused deposition modeling. **Rapid prototyping journal**, 7(3), 138-147.

เป้าทอง, ธ. (2555). การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว.

พิทยชาล, ป., & เป้าทอง, ธ. (2556). การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วจากความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ฉบับที่ 1 ปีที่ 6 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2556, 61-69.

วรวุฒิ, ว., ทรงคุณ, ศ., & ปริญญา, พ. (2549). เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว Rapid Prototyping Technology.



ภาคผนวก ก

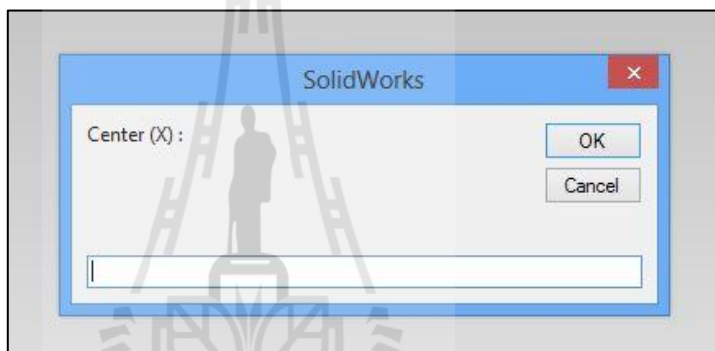
การประมวลผลด้วยโปรแกรม Visual Basic



ก.1 การประมวลผลด้วยโปรแกรม Visual Basic ร่วมกับ โปรแกรม Solid works เพื่อวิเคราะห์การจัดวางทิศทางของชิ้นงาน

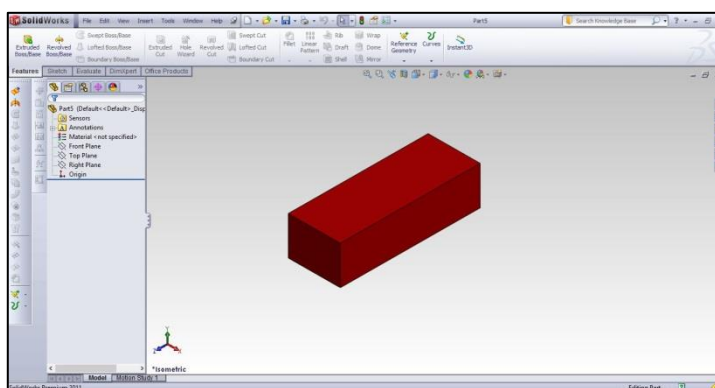
ในส่วนนี้จะแสดงการสร้างกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อใช้เป็นกล่องขอบเขต โดยการใช้โปรแกรม Visual Basic ร่วมกับ Solid works ด้วยการป้อนข้อมูลนำเข้าซึ่งประกอบ จุดเริ่มต้น แนวแกน และขนาดของชิ้นงาน ผ่าน โปรแกรม Visual Basic เพื่อสร้างกล่องสี่เหลี่ยมในโปรแกรม Solid works, การวิเคราะห์จุกุมของชิ้นงาน, การตรวจสอบลักษณะเส้นขอบ และการหาปริมาตรของชิ้นงาน

1. ป้อนข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างกล่องขอบเขตดังแสดงในรูปที่ ก.1



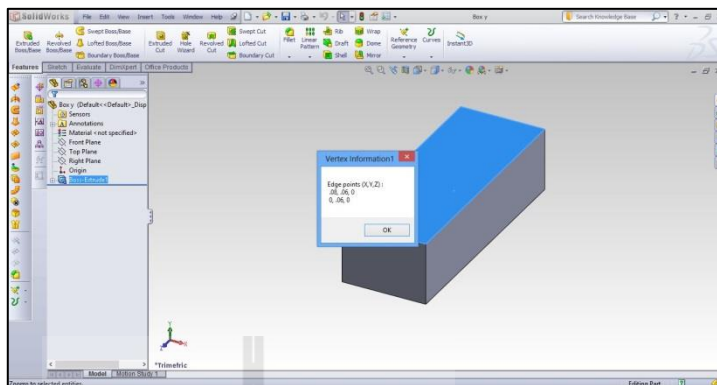
รูปที่ ก.1 แสดงการป้อนข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างกล่องขอบเขต

2. ผลลัพธ์การสร้างกล่องขอบเขตดังแสดงในรูปที่ ก.2



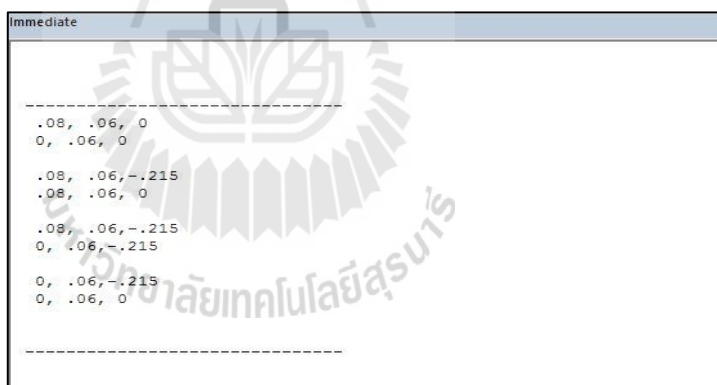
รูปที่ ก.2 แสดงผลลัพธ์จากการสร้างกล่องขอบเขต

3. ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จุดมุมของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ ก.3



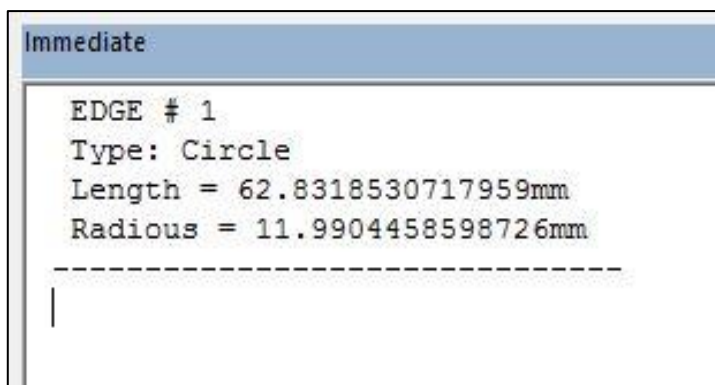
รูปที่ ก.3 แสดงการวิเคราะห์จุดมุมของชิ้นงาน

4. การบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรม Visual Basic ดังแสดงในรูป ก.4



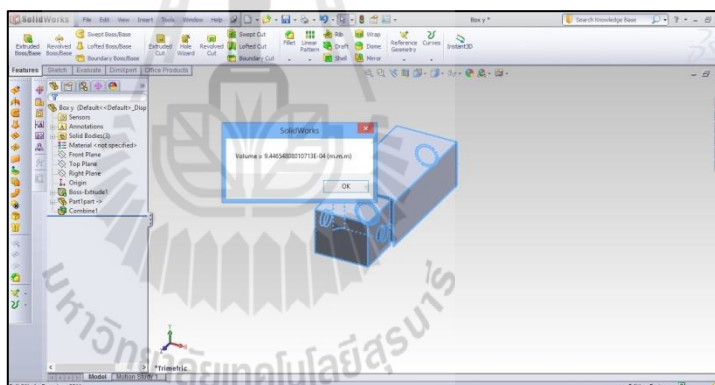
รูปที่ ก.4 แสดงการจัดเก็บข้อมูลจุดมุมของชิ้นงาน

5. ผลลัพธ์ของการตรวจสอบชนิดของเส้นบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual Basic ดังแสดงในรูปที่ ก.5



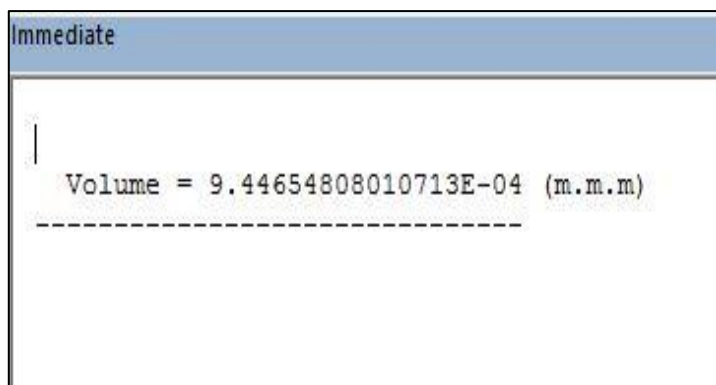
รูปที่ ก.5 แสดงการตรวจสอบลักษณะเส้นขอบบนพื้นผิวชิ้นงาน

6. ผลลัพธ์จากการคำนวณปริมาตรของชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual Basic ดังแสดงในรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 แสดงผลการคำนวณปริมาตรของชิ้นงาน

7. ผลลัพธ์การจัดเก็บข้อมูลปริมาตรด้วย Visual Basic ดังแสดงในรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลปริมาตรของชิ้นงาน



ภาคผนวก ข

โปรแกรม Visual Basic



ข.1 คำสั่งในการสร้างกล่องสี่เหลี่ยม

```

Sub main()

Dim swapp As SldWorks.SldWorks
Dim swmodel As SldWorks.ModelDoc2
Dim swmodeler As SldWorks.Modeler

Set swapp = Application.SldWorks
Set swmodel = swapp.ActiveDoc
Set swmodeler = swapp.GetModeler

'Define box
Dim nBox1Param(8) As Double
nBox1Param(0) = InputBox("Please input your Center (X) :")
nBox1Param(1) = InputBox("Please input your Center (Y) :")
nBox1Param(2) = InputBox("Please input your Center (Z) :")

' Axis
nBox1Param(3) = InputBox("Axis to Extruded (X) :")
nBox1Param(4) = InputBox("Axis to Extruded (Y) :")
nBox1Param(5) = InputBox("Axis to Extruded (Z) :")

' Width
nBox1Param(6) = InputBox("Please input your dimension Width (X) :")

' Length
nBox1Param(7) = InputBox("Please input your dimension Height (Y) :")

' Height
nBox1Param(8) = InputBox("Please input your dimension Length (Z) :")

```

```

'Create box temporary body
Dim swBox1Body As SldWorks.Body2
Set swBox1Body = swmodeler.CreateBodyFromBox(nBox1Param)

'Check body for faults
Call CheckBody(swBox1Body)

'Display body
swBox1Body.Display3 swmodel, RGB(200, 0, 0), swTempBodySelectOptionNone

'Repeat
Dim nBox2Param(8) As Double

nBox2Param(0) = InputBox("Please input your Center (X) Again!! :")

nBox2Param(1) = InputBox("Please input your Center (Y) Again!!:")

nBox2Param(2) = InputBox("Please input your Center (Z) Again!! :")

' Axis
nBox2Param(3) = InputBox("Axis to Extruded (X) Again!! :")
nBox2Param(4) = InputBox("Axis to Extruded (Y) Again!! :")
nBox2Param(5) = InputBox("Axis to Extruded (Z) Again!! :")

' Width
nBox2Param(6) = InputBox("Please input your dimension Width (X) Again!! :")

' Length
nBox2Param(7) = InputBox("Please input your dimension Height (Y) Again!! :")

```

```

'Height
nBox2Param(8) = InputBox("Please input your dimension Length (Z) Again!! :")

'Create box temporary body
Dim swBox2Body As SldWorks.Body2
Set swBox2Body = swmodeler.CreateBodyFromBox(nBox2Param)

'Check body for faults
Call CheckBody(swBox2Body)

'Display body
swBox2Body.Display3 swmodel, RGB(200, 0, 0), swTempBodySelectOptionNone

'Add bodies
Dim vBodies As Variant
Dim lngErrors As Long
vBodies = swBox2Body.Operations2(SWBODYADD, swBox1Body, lngErrors)
If lngErrors <> 0 Then
    Debug.Print "Boolean operation error: " & lngErrors & vbCrLf & "ending"
End
End If

'Turn
Dim swPart As SldWorks.PartDoc
Set swPart = swmodel
swPart.CreateFeatureFromBody3 vBodies(0), False, 0

End Sub

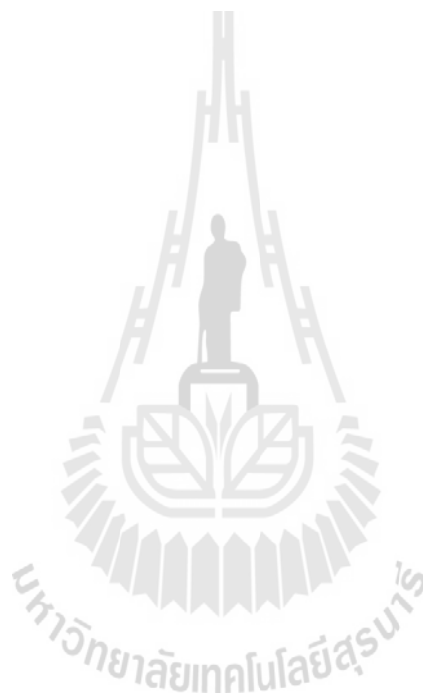
Sub CheckBody(body As SldWorks.Body2)

```



```
Dim swFaultEnt As SldWorks.FaultEntity
Dim i As Integer
Set swFaultEnt = body.Check3
If swFaultEnt.Count <> 0 Then
    Debug.Print "Fauts detected."
    For i = 0 To swFaultEnt.Count - 1
        Debug.Print "Error code: " & swFaultEnt.ErrorCode(i)
    Next i
    Debug.Print "Ending."

End If
End Sub
```



ข.2 คำสั่งในการหาปริมาตรของชิ้นงาน

Option Explicit

Public Enum swMassPropertiesStatus_e

swMassPropertiesStatus_OK = 0

swMassPropertiesStatus_UnknownError = 1

swMassPropertiesStatus_NoBody = 2

End Enum

Public Enum swUserPreferenceToggle_e

swUpdateMassPropsDuringSave = 30

End Enum

Sub main()

Dim swApp As SldWorks.SldWorks

Dim swModel As SldWorks.ModelDoc2

Dim swModelExt As SldWorks.ModelDocExtension

Dim swAssy As SldWorks.AssemblyDoc

Dim swSelMgr As SldWorks.SelectionMgr

Dim swComp As SldWorks.Component2

Dim nStatus As Long

Dim vMassProp As Variant

Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application")

Set swModel = swApp.ActiveDoc

```

Set swModelExt = swModel.Extension

vMassProp = swModelExt.GetMassProperties(1, nStatus)
'Debug.Print "ModelDocExtension::GetMassProperties(" + swModel.GetPathName + ")"
'Debug.Print " Status = " & nStatus
Debug.Print ""

    If Not IsEmpty(vMassProp) Then
'Debug.Print " Center Of Mass X = " & vMassProp(0)
'Debug.Print " Center Of Mass Y = " & vMassProp(1)
'Debug.Print " Center Of Mass Z = " & vMassProp(2)

MsgBox " Volume = " & vMassProp(3) & " (m.m.m) "

Debug.Print " Volume = " & vMassProp(3) & " (m.m.m) "
Debug.Print " Area  = " & vMassProp(4)
Debug.Print " Mass  = " & vMassProp(5)
Debug.Print " MomXX = " & vMassProp(6)
Debug.Print " MomYY = " & vMassProp(7)
Debug.Print " MomZZ = " & vMassProp(8)
Debug.Print " MomXY = " & vMassProp(9)
Debug.Print " MomZX = " & vMassProp(10)
Debug.Print " MomYZ = " & vMassProp(11)

End If
Debug.Print "-----"

End Sub

```

ข.3 คำสั่งในการตรวจสอบชนิดของเส้นบนขอบชิ้นงาน

Option Explicit

Dim swApp As SldWorks.SldWorks

Dim Part As ModelDoc2

Dim Measure As Measure

Dim boolstatus As Boolean

Sub main()

 et swApp = Application.SldWorks

 Set Part = swApp.ActiveDoc

 Set Measure = Part.Extension.CreateMeasure

Measure.ArcOption = 0 'Can set this to 0, 1, or 2

 ' 0 - Center to Center

 ' 1 - Minimum Distance

 ' 2 - Maximum Distance

Dim strDisplay As String

boolstatus = Measure.Calculate(Nothing)

 If (boolstatus) Then

 If (Not (Measure.Length = -1)) Then

 Debug.Print "Length: " & Measure.Length

 End If

 If (Not (Measure.Area = -1)) Then

```
Debug.Print "Area: " & Measure.Area  
    End If  
  
    If (Not (Measure.ArcLength = -1)) Then  
Debug.Print "Arc length: " & Measure.ArcLength  
    End If  
  
    If (Not (Measure.ChordLength = -1)) Then  
Debug.Print "Chord length: " & Measure.ChordLength  
    End If  
  
    If (Not (Measure.Diameter = -1)) Then  
Debug.Print "Diameter: " & Measure.Diameter  
    End If  
  
    If (Not (Measure.Radius = -1)) Then  
Debug.Print "Radius: " & Measure.Radius  
    End If  
  
    If (Not (Measure.Perimeter = -1)) Then  
Debug.Print "Perimeter: " & Measure.Perimeter  
    End If  
  
    If (Not (Measure.X = -1)) Then  
Debug.Print "X coordinate: " & Measure.X  
    End If  
  
    If (Not (Measure.Y = -1)) Then  
Debug.Print "Y coordinate: " & Measure.Y  
    End If
```

```
If (Not (Measure.Z = -1)) Then
Debug.Print "Z coordinate: " & Measure.Z
End If

If (Not (Measure.DeltaX = -1)) Then
Debug.Print "DeltaX: " & Measure.DeltaX
End If

If (Not (Measure.DeltaY = -1)) Then
Debug.Print "DeltaY: " & Measure.DeltaY
End If

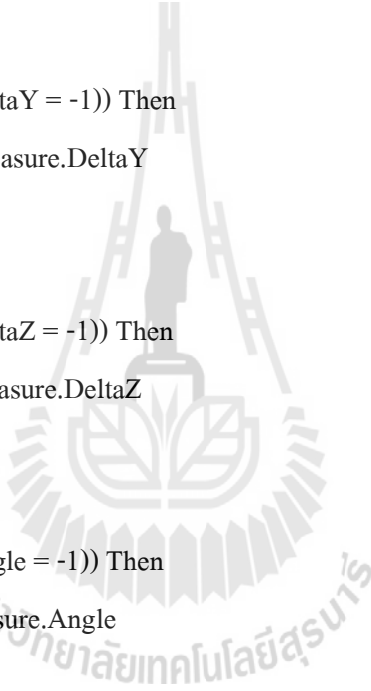
If (Not (Measure.DeltaZ = -1)) Then
Debug.Print "DeltaZ: " & Measure.DeltaZ
End If

If (Not (Measure.Angle = -1)) Then
Debug.Print "Angle: " & Measure.Angle
End If

If (Not (Measure.CenterDistance = -1)) Then
Debug.Print "Center distance: " & Measure.CenterDistance
End If

If (Not (Measure.NormalDistance = -1)) Then
Debug.Print "Normal distance: " & Measure.NormalDistance
End If

If (Not (Measure.Distance = -1)) Then
```

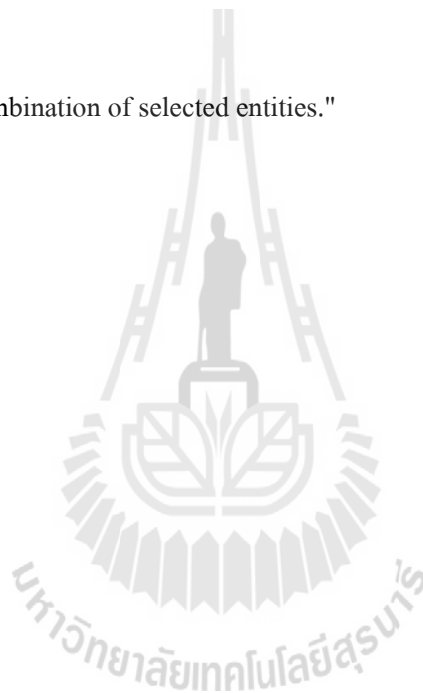
The watermark is a circular logo of Suranaree University of Technology. It features a central emblem with a stylized figure and a gear-like border. The text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี' (Mahavithayalai Teksit Loysit Suranari) is written in Thai script around the bottom half of the circle.

```
Debug.Print "Distance: " & Measure.Distance  
    End If  
  
    If (Not (Measure.TotalLength = -1)) Then  
Debug.Print "Total length: " & Measure.TotalLength  
    End If  
  
    If (Not (Measure.TotalArea = -1)) Then  
Debug.Print "Total Area : " & Measure.TotalArea  
    End If  
  
    If (Measure.IsParallel) Then  
Debug.Print "IsParallel : " & Measure.IsParallel  
    End If  
  
    If (Measure.IsIntersect) Then  
Debug.Print "Is Intersect : " & Measure.IsIntersect  
    End If  
  
    If (Measure.IsPerpendicular = -1) Then  
Debug.Print "Is Perpendicular : " & Measure.IsPerpendicular  
    End If  
  
    If (Not (Measure.Projection = -1)) Then  
Debug.Print "Projection : " & Measure.Projection  
    End If  
  
    If (Not (Measure.Normal = -1)) Then  
Debug.Print "Normal : " & Measure.Normal  
    End If
```

```
If (Not (Measure.SpericalCenterDistance = -1)) Then
Debug.Print "Sperical Center Distance : " & Measure.SpericalCenterDistance
End If

If (Measure.IsConcentricSpheres) Then
Debug.Print "Is Concentric Spheres : " & Measure.IsConcentricSpheres
End If

Else
Debug.Print "Invalid combination of selected entities."
End If
End Sub
```



ข.4 คำสั่งในการหาจุดมุมของชิ้นงาน

```
Dim swEdge As SldWorks.Edge  
Dim swCurve As SldWorks.Curve  
Dim swCurveParams As SldWorks.CurveParamData
```

```
Public Sub GetEndPoints()
```

```
Dim swApp, Part, SelMgr As Object
```

```
Dim faceObj As Object
```

```
Dim edgeList As Variant
```

```
Dim edgeCount As Long
```

```
Dim edgeObj As Object
```

```
Dim startVertexObj As Object
```

```
Dim endVertexObj As Object
```

```
Dim startPt As Variant
```

```
Dim endPt As Variant
```

```
'Dim swCurve As SldWorks.Curve
```

```
'Dim swCurveParams As SldWorks.CurveParamData
```

```
Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application")
```

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
```

```
Set SelMgr = Part.SelectionManager
```

```
    If (SelMgr.GetSelectedObjectCount = 0) Then
```

```
swApp.SendMsgToUser ("Select a face first...")
```

```
    Else
```

```
        If (SelMgr.GetSelectedObjectType(1) <> 2) Then
```

```
swApp.SendMsgToUser ("Must select a face")
```

```
Exit Sub
```

```

End If

Set faceObj = SelMgr.GetSelectedObject5(1)

edgeCount = faceObj.GetEdgeCount
edgeList = faceObj.GetEdges

For i = 1 To (edgeCount)
Set edgeObj = edgeList(i - 1)
Set startVertexObj = edgeObj.GetStartVertex
Set endVertexObj = edgeObj.GetEndVertex

msg = "Edge points (X,Y,Z) : " + Chr(10)

If (Not startVertexObj Is Nothing) Then
startPt = startVertexObj.GetPoint
msg = msg + Str$(startPt(0)) + "," + Str$(startPt(1)) + "," + Str$(startPt(2)) + Chr(10)
Debug.Print Str$(startPt(0)) + "," + Str$(startPt(1)) + "," + Str$(startPt(2))
End If

If (Not endVertexObj Is Nothing) Then
endPt = endVertexObj.GetPoint
msg = msg + Str$(endPt(0)) + "," + Str$(endPt(1)) + "," + Str$(endPt(2))
Debug.Print Str$(endPt(0)) + "," + Str$(endPt(1)) + "," + Str$(endPt(2)) + Chr(10)
End If

Style = vbOKOnly
Title = "Vertex Information" & i

Call MsgBox(msg, Style, Title)

```

```
'retval = MsgBox("Do you want to check this edge?" & i, vbYesNo)

    'If retval = 6 Then
'MsgBox " Edge not line "
    Next
    End If

Debug.Print "-----"
End Sub
```



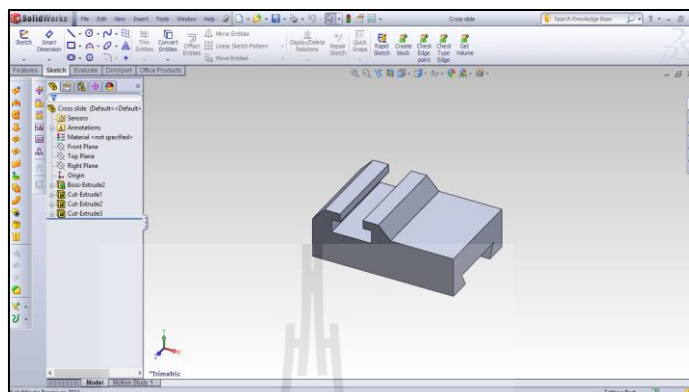
ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุด้วย โปรแกรม Visual basic
และ โปรแกรม Solid works

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

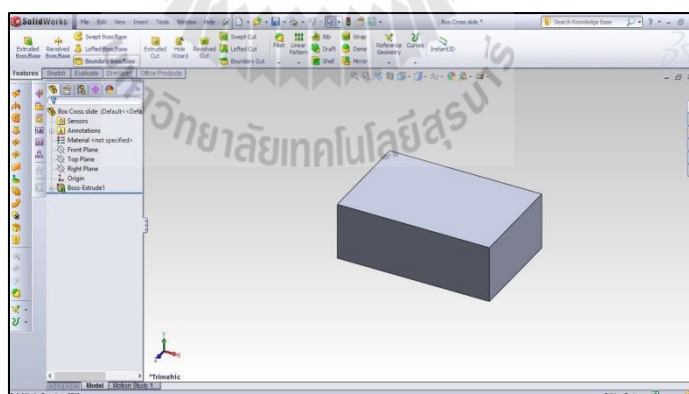
ค.1 แสดงวิธีการวิเคราะห์ทิศทางการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

สร้างชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Solid works เวอร์ชัน 2011 ดังในรูปที่ ค.1.1



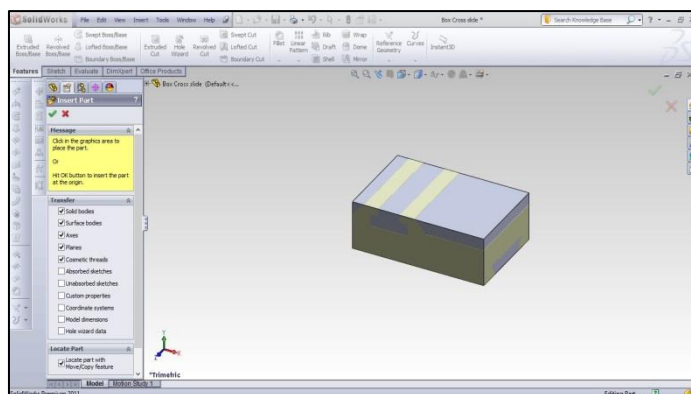
รูปที่ ค.1.1 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+

สร้างฐานรองรับชิ้นงานด้วยคำสั่งโปรแกรม Visual basic ซึ่งแสดงในโปรแกรม Solid works ดังในรูปที่ ค.1.2

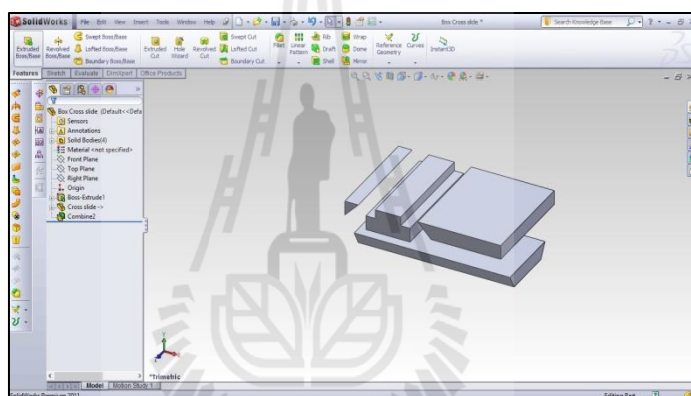


รูปที่ ค.1.2 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ

ห้กลับกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ ในโปรแกรม Solid works เวอร์ชัน 2011 ดังในรูปที่ ค.1.3 และ ค.1.4

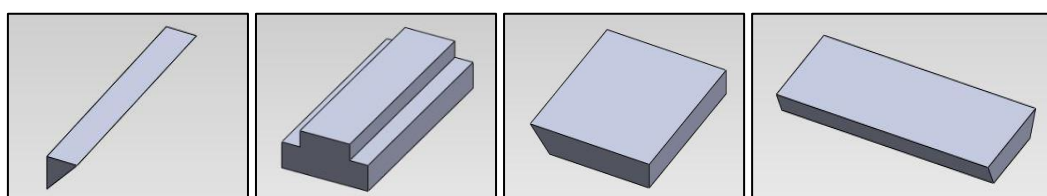


รูปที่ ค.1.3 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต



รูปที่ ค.1.4 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

จำแนกชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชิ้น ดังในรูปที่ ค.1.5

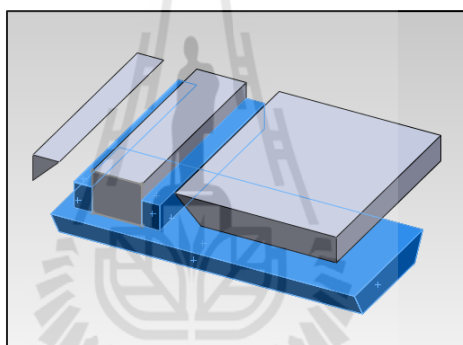


รูปที่ ค.1.5 แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

Immediate	Immediate
.043, .032, -.06	.092, .032, 0
.043, .032, 0	0, .032, 0
.092, .032, 0	.092, .032, -.06
.043, .032, 0	.092, .032, 0
.092, .032, -.06	.092, .032, -.06
.092, .032, 0	0, .032, -.06
.092, .032, -.06	0, .032, -.06
.043, .032, -.06	0, .032, 0

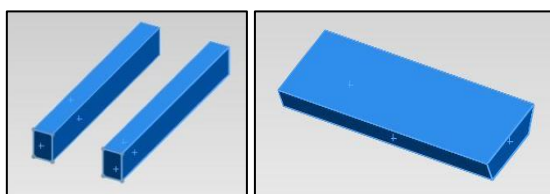
รูปที่ ค.1.8 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลระนาบระหว่างกล่องขอบเขตกับชิ้นงานตรวจสอบ

ตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานที่ผ่านการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์แล้ว ดังในรูปที่ ค.1.9



รูปที่ ค.1.9 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชั้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

รูปร่างฐานรองชิ้นงานที่ได้จากการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุในทิศทาง $y+$ ดังในรูปที่ ค.1.10



รูปที่ ค.1.10 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน $y+$

ภาคผนวก ง

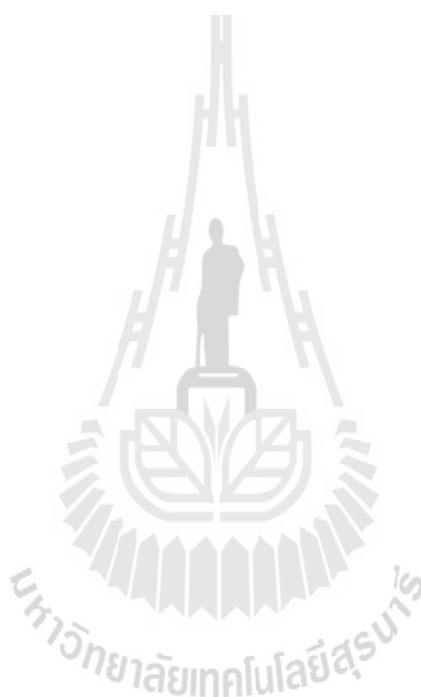
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Paphakorn Pitayachaval, Payungsak Junyusen, Aphichet Konkham. (2015). **A study of the relationship between part orientation and direction of rapid prototype construction.**

9th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium.



An effect of part height, cross-sectional area and building time to part orientation base on 3D printing technology

Paphakorn Pitayachaval* Payungsak Junyusen and Aphichet Konkham

School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree
University of Technology,

AmphurMuang, NakhornRatchasima 30000

Tel : 0-4422-4264 E-mail: paphakorn@g.sut.ac.th

Abstract

Rapid prototyping technology (RP) is a technology to construct prototype layer by layer directly from a computer file (CAD model). To minimize construction time and volume of material, a part orientation is determined before constructing model. However, the prefer orientation has been related to a number of layers, a volume of support material and a construction time. This paper presents the experiments that provide those relationships. The results shown that the relationship between constructing time, part height and cross-sectional area were a linear function. Furthermore, the part orientation directly affected to the part height, the number of layers and the volume of support material.

Key words: Rapid Prototyping technology (RP), Part orientation, Cross-sectional area, Support material

1. Introduction

Rapid prototyping process is a manufacturing process that manufactures products directly from CAD model without mold and die. It was introduced to shorten prototype construction time. This process converts a 3D CAD model to be a stack of 2D contours which are used to generate machine commands to build an object layer by layer. In this process, material is added to produce a part layer by layer. Several techniques have been developed for rapid prototyping process and they can be classified into 3 categories based on the initial state of materials [1] liquid-based, solid-based and powder-based. Stereolithography apparatus (SLA), a popular technique in a liquid-based system, is the first commercial rapid prototyping system. In this technique, UV laser is used to solidify photo-curable liquid polymer to form layers. Selective Laser Sintering (SLS) is a famous technique in a powder-based rapid prototyping system. This technique is

similar to SLA but instead of curing liquid polymer with UV laser, CO₂ laser is used in SLS to sinter powder to form a layer. Similarly, 3D printing is also a popular technique in a powder-based rapid prototyping system. Besides using UV laser, glue had been applied. Last group of rapid prototyping system is solid-based. In this group, there are several types of solid material used including wire, roll of laminated sheet and pellets. Popular techniques of this group are Laminate Object Manufacturing (LOM) and Fused Deposition Modelling (FDM) [2]. For RP technique development, there are four issues base on process step such that the STL File modeling, a model slicing analysis, a tool path planning of RP process and an part orientation analysis.

STL file has been introduced as a neutral format to converse 3D CAD models to be ready for use in rapid prototyping. The STL file presents 3D solid model as the surfaced model patched by triangular facets. Although the STL file has been used in RP process, it has some disadvantages such as data redundancy and several defects [3]. So, the direct slicing from 3D CAD model and engineering drawing had been introduced [4], [5]. (Jamieson and Hacker, 1995).

Staircase effect, actually, is an inherent error of layer manufacturing that can be reduced by using smallest thickness. However, if this solution is applied to all layers, fabrication time is increased significant. To improve model accuracy while minimizing prototype construction time, an adaptive slicing concept and an adaptive direct slicing concept have been proposed to slice a model with non-uniform thickness in which the first concept is for slicing STL model while the second concept is for slicing CAD model directly. (Sabourin *et al.*, 1996; Hope *et al.*, 1997a, b; Zhao and Laperrière, 2000).[6]

A tool path planning is also an research issue to minimize RP processing time in which TSP had been applied to identify the optimize tool path [7] .

Additionally, a part orientation has been investigated in order to identify a support structure and a creating time [8]. An appropriate part orientation can be presented the optimum cost according to a consuming raw material for support structure, use to create RP model.

In order to explore an effect of part height, cross-sectional area and building time to part orientation, this paper presents experiments in which part height and cross-sectional area are fix variables while a building time is dependent variable by using 3D printing technology. A model has been oriented into six direction base on Cartesian axes.

2. Literature Review

Part deposition orientation is very important factor of layered manufacturing as it effects build time, support structure, dimensional accuracy, surface finish and cost of the prototype[9-11] Figure 1 shows determination of build-up orientation. Minimise stairstepping effect. Minimise support structure. Minimise number of layers by variable thickness. The amount of the base material and high quality.







Defect	Build-up orientation	
	Optimised	Non-optimised
Minimise stairstepping effect		
Minimise support structure		
Minimise number of layers		

Figure 1 Determination of build-up orientation. Minimise stairstepping effect, Minimise support structure. Minimise number of layers by variable thickness [9]

An analysis of the part in the optimum direction has been studied by various researchers.[10-16] This research describes a method for determining the minimum oriented bounding box for arbitrary solid. The method simplifies a complex-dimensional problem by projecting the solid onto three principal planes and makes use of the projected contour for analysis.[10] Subsequent research describes a method of Artificial Neural Network (ANN) is used to determine the optimum solution. Predictions of the present methodology are in agreement with the results published earlier. The methodology proposed in this work is used to obtain the optimum part deposition orientation automatically and can be implemented in FDM technology.[11] The determine the optimal part

orientation that improves the average weighted surface roughness (AWSR) generated from the stair stepping effect [12] In addition to an algorithm to determine the build orientation is described. It considers the deposition process attributes and the machining process attributes simultaneously.[13]

3. Experiment

To identify the effect of part height, cross-sectional area and building time to part orientation, experiments have been separated into two groups by using 3D printing technology. The first group is to establish the relationship between constructing time, part height and cross-sectional area. The second experiment is to present the relationship between a volume of support material and the part constructing time in any direction base on an assumption that a raw material created RP model is constant in any building direction. These experiments have been conducted base on 3D Printing Machine can build maximum sized 8x8x12 In.

3.1 The relationship between constructing time, part height and cross-sectional

The first experiment group, the relationship between constructing time, part height and cross-sectional area has been classified base on variables such that the part height and cross-sectional area are fix variables while the constructing time is dependent variable. Thus, the experiments have been conducted into two sets: 1) the part height is varied while cross-sectional area is constant and 2) the cross-sectional area is change while part height is constant, as follow a table 1. A simple box has been used to present this experiment due to its constant cross-sectional area, as shown in figure 2.

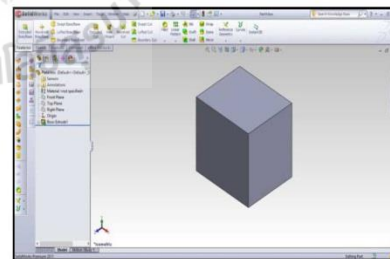


Figure 2: A simple box

Table 1: Two sets of the first experiment group

Experiment Set	Part Height	Cross-sectional area
1	Vary	Constant
2	Constant	Vary

3.2 The relationship between a volume of support material and the part constructing time

The second experiment group, the relationship between a volume of support material and the part

constructing time in any direction has been investigated. Base on an assumption that a raw material created RP model is constant in any building direction, a model, as shown in figure 3, has been orientated into six postures following six directions of Cartesian axes.

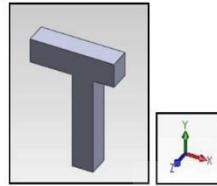


Figure 3: A 3D model for the section experiment

4. Results

4.1 The relationship between constructing time, part height and cross-sectional

There were two sets of experiment results: 1) the part height was varied while cross-sectional area was constant and 2) the cross-sectional area was change while part height was constant.

When the part height was increase, a number of layers and a volume of model were also enlarge, as shown in table 2. On the other hand, when the cross-sectional area was expanded, a number of layers and a volume of model were also enlarged, as shown in table 3. Therefore, the constructing time (T) has the linear relationship with the function of the part height (h) and cross-sectional area (a), as following equation 1.

$$T \propto f(h,a) \quad (1)$$

Table 2: The result of constructing time when the part height was varied while cross-sectional area was constant

Part Height (x10 ³ m)	Cross-sectional area (x10 ⁶ m ²)	Number of layers	Part volume (m ³)	Support volume (m ³)	Time (s)
5	10x10	200	4.92x10 ⁻⁴	1.64x10 ⁻⁴	240
10	10x10	400	9.83x10 ⁻⁴	1.64x10 ⁻⁴	420
15	10x10	600	1.31x10 ⁻³	1.64x10 ⁻⁴	600
20	10x10	790	1.80x10 ⁻³	1.64x10 ⁻⁴	780

Table 3: The result of constructing time when the cross-sectional area was expanded while part height was constant

Part Height (x10 ³ m)	Cross-sectional area (x10 ⁶ m ²)	Number of layers	Part volume (m ³)	Support volume (m ³)	Time (s)
5x5	10	400	3.28x10 ⁻⁴	0	240
10x10	10	400	9.83x10 ⁻⁴	1.64x10 ⁻⁴	420
15x15	10	400	1.97x10 ⁻³	3.28x10 ⁻⁴	600
20x20	10	400	3.44x10 ⁻³	4.91x10 ⁻⁴	840

4.2 The relationship between a volume of support material and the part constructing time

The results of volume of support material and the part constructing time in any direction were presented as table 4. There results shown that the part orientation directly affected to the part height, the number of layers and the volume of support material. Moreover, the volumes of support material seem to relate the part constructing time even though there was not a linear relationship.

Table 4: The results of volume of support material and the part constructing time in any direction

Orientation	Number of layer	Part volume(m ³)	Support volume(m ³)	Time(s)
	990	9.83x10 ⁻⁴	1.64x10 ⁻³	1980
	990	9.83x10 ⁻⁴	1.64x10 ⁻⁴	600
	790	9.83x10 ⁻⁴	8.19x10 ⁻⁴	1080
	790	9.83x10 ⁻⁴	6.56x10 ⁻⁴	840
	200	9.83x10 ⁻⁴	3.28x10 ⁻⁴	420
	200	9.83x10 ⁻⁴	3.28x10 ⁻⁴	420

5. Conclusion

The relationship between constructing time, part height and cross-sectional area were linear function. When the part height was increase, a number of layers and a volume of model were also enlarge. Additionally, when the cross-sectional area was expanded, a number of layers and a volume of model were also enlarged. Further, the volume of support material relate to the part constructing time, in

which the part orientation directly affected to the part height, the number of layers and the volume of support material.

6. Acknowledge

This research has been supported by the research and development supporting fund, Suranaree University of Technology.

7. Reference

- [1.] Bullinger, H.-J., J. Warschat, and D. Fischer, *Rapid product development—an overview*. Computers in industry, 2000. **42**(2): p. 99-108.
- [2.] Pham, D. and R. Gault, *A comparison of rapid prototyping technologies*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1998. **38**(10-11): p. 1257-1287.
- [3.] Kai, C.C., G.G.K. Jacob, and T. Mei, *Interface between CAD and Rapid Prototyping System. Part1: A study of existing interfaces* International Journal of Advance Manufacturing Technology, 1997. **13**: p. 566-570.
- [4.] Kumar, V. and D. Dutta, *An assessment of data formats for layered manufacturing*. Advances in Engineering Software, 1997. **28**(3): p. 151-164.
- [5.] Soonanon, P. and P. Koomsap, *Towards direct transformation of orthographic-view drawings into a prototype*. Virtual and Physical Prototyping, 2009. **4**(2): p. 75-90.
- [6.] Cao, W. and Y. Miyamoto, *Direct slicing from AutoCAD solid models for rapid prototyping*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2003. **21**(10-11): p. 739-742.
- [7.] Paphakorn Pitayachaval and Thanakarn Baothong, *A tool path planning of rapid prototype technology base on a contour relationship*. Journal of engineering Ubon ratchathani university No. 1 Vol. 6 January-June 2556, 2556: page 61-69.(in Thai)
- [8.] Guo, K.B., et al., *Boolean operations of STL models based on loop detection*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006. **33**(5-6): p. 627-633.
- [9.] Hur, J. and K. Lee, *The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1998. **14**(4): p. 247-254.
- [10.] Chan, C. and S. Tan, *Determination of the minimum bounding box of an arbitrary solid: an iterative approach*. Computers & Structures, 2001. **79**(15): p. 1433-1449.
- [11.] Karim, K.F., et al., *FEATURE-BASED SUPPORT GENERATION FOR OPTIMUM PART DEPOSITION ORIENTATION IN FDM*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2006. **9**.
- [12.] Byun, H.-S. and K.H. Lee*, *Determination of the optimal part orientation in layered manufacturing using a genetic algorithm*. International journal of production research, 2005. **43**(13): p. 2709-2724.
- [13.] Hua, Z., K. Leea, and J. Hurb, *Determination of optimal build orientation for hybrid rapid-prototyping*. Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 378–383, 2002.
- [14.] Ziemian, C. and P. Crawn III, *Computer aided decision support for fused deposition modeling*. Rapid Prototyping Journal, 2001. **7**(3): p. 138-147.
- [15.] Kumar Chalasani, S.I., Minneapolis,USA., S. Larry Jones, Cincinnati,USA., and S.I. Larry Roscoe, Minneapolis,USA, *Support Generation for Fused Deposition Modeling*. 1995: p. 229-241.
- [16.] Huang, X., et al., *Sloping wall structure support generation for fused deposition modeling*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008. **42**(11-12): p. 1074-1081.

ประวัติผู้เขียน

นายอภิเชษฐ ก้อนคำ เกิดเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2534 เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนสิงห์ฤกษ์ประสิทธิ์ จังหวัดลพบุรี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนวินิตศึกษาในพระราชูปถัมภ์ฯ จังหวัดลพบุรี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 โรงเรียนพินุลวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2555 ปี พ.ศ. 2556 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโททางวิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โดยขณะศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยในโครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว และในระหว่างการศึกษาได้ปฏิบัติงานเป็นผู้สอนปฏิบัติการรายวิชาปฏิบัติการกรรมวิธีการผลิตและปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการขั้นพื้นฐาน สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

